

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA STROJNÍ
KATEDRA MATERIÁLU

Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 3911R018 Materiály a technologie
Zaměření: Materiálové inženýrství

Vliv způsobu tepelného zpracování na deformace ozubených kol

Affect of heat-treating process technique on toothed gear deformation

KMT – B – 175

Miroslav Rudolf

Vedoucí práce: Ing. Adam Hotař, Ph.D.

Konzultant: Ing. Tomáš Špáta

Počet stran:	46
Počet tabulek:	9
Počet obrázků:	33
Počet grafů:	6
Počet příloh:	6

V Krnsku dne 11. 5. 2011



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno a příjmení	Miroslav R U D O L F
studijní program	2341 B Strojírenství
obor	Materiály a technologie
zaměření	Materiálové inženýrství

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje bakalářská práce na téma:

Vliv způsobu tepelného zpracování na deformace ozubených kol

Zásady pro vypracování:

(uved'te hlavní cíle bakalářské práce a doporučené metody pro vypracování)

- 1) Seznamte se se způsoby tepelného zpracování ozubených kol ve firmě ŠKODA AUTO a.s. Mladá Boleslav.
- 2) Proved'te srovnání volného kalení a kalení pod lisem vzhledem k reálným podmínkám při tepelném zpracování.
- 3) Vyhodnoťte uvedené způsoby kalení z hlediska deformací a ekonomiky provozu.
- 4) Na základě získaných výsledků doporučte nejvhodnější způsob tepelného zpracování.

Forma zpracování bakalářské práce:

- průvodní zpráva v rozsahu 25 - 40 stran
- přílohy

Seznam literatury (uveďte doporučenou odbornou literaturu):

- [1] Ptáček,L. a kolektiv: Nauka o materiálu I, Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2003
- [2] ASM Handbook. Vol. 4, Heat treating. Materials Park : ASM International, 1997. ISBN 0-87170-379-3
- [3] Firemní podklady firmy ŠKODA AUTO

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Adam Hotař, Ph.D.
Konzultant bakalářské práce : Ing. Tomáš Špáta, ŠKODA AUTO a. s.

L.S.

prof. Ing. Petr LOUDA,CSc.
vedoucí katedry

doc. Ing. Miroslav MALÝ,CSc.
děkan

V Liberci dne 04.10.2010

Platnost zadání bakalářské práce je 15 měsíců od výše uvedeného data (v uvedené lhůtě je třeba podat přihlášku ke SZZ) .Termíny odevzdání bakalářské práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.

Prohlášení

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum: 11. 5. 2011

Podpis

ANOTACE

Bakalářská práce se zabývá porovnáním metody kalení pod lisem a volného kalení. Srovnávání je prováděno na základě vyhodnocení deformačních charakteristik dílů a průběhů tvrdosti. Na základě výsledků měření a provozních nákladů jednotlivých metod kalení stanovila práce vhodnější metodu.

KLÍČOVÁ SLOVA: Objímka, deformace, kalení, cementace, popouštění, pec

ANNOTATION

Bachelor work deals with comparing methods of hardening press and free hardening. Methods are compared on the basis of evaluation deformations characteristics and hardness map line. This work chooses better method appoint on the basis of measuring results and production cost.

KEY WORDS: Sleeve, deformations, hardening, cementing, tempering, furnace

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval všem, kteří mi s mou bakalářskou prací pomáhali, zejména pak panu Ing. Adamu Hotařovi, Ph.D. za vedení mé práce a panu Ing. Tomáši Špátovi za ochotu při konzultacích. Dále děkuji Ing. Josefu Podkovičákovi za odborné rady. Mé díky také patří pracovníkům kalírny ve firmě ŠKODA AUTO a. s. za pomoc při řešení experimentální části práce.

OBSAH

1. ÚVOD	8
2. TEORETICKÁ ČÁST	9
2.1. POUŽÍVANÉ ZPŮSOBY TEPELNÉHO ZPRACOVÁNÍ	9
2.1.1. Kalení	9
2.1.1.1. Martenzitické kalení	11
2.1.1.2. Bainitické kalení.....	12
2.1.1.3. Kalicí prostředí.....	13
2.1.2. Popouštění	15
2.1.3. Cementace	16
2.1.3.1. Řízené atmosféry	17
2.2. DEFORMACE	18
2.2.1. Druhy deformací při tepelném zpracování.....	18
2.2.1.1. Objemové	18
2.2.1.2. Tvarové.....	18
2.2.2. Vnitřní pnutí při kalení.....	19
2.2.3. Odstraňování/snižování deformací:.....	20
3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	21
3.1. OBJÍMKA SYNCHRONNÍ SPOJKY 3. – 6. RYCHLOSTI	21
3.2. POUŽITÁ ZAŘÍZENÍ PRO TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ VE ŠKODA AUTO	22
3.2.1. Karuselová pec IPSEN (kalení pod lisem).....	22
3.2.2. Průběžná pec AICHELIN (volné kalení)	25
3.3. ROZMÍSTĚNÍ DÍLŮ V PŘÍPRAVCÍCH, POUŽITÉ PŘÍPRAVKY	27
3.3.1. V karuselové peci (kalení pod lisem).....	27
3.3.2. V průběžné peci (volné kalení)	27
3.3.2.1. Přípravek varianta A.....	28
3.3.2.2. Přípravek varianta B.....	29
3.4. PROVOZNÍ NÁKLADY PECÍ.....	30
3.5. POPIS ZPŮSOBU MĚŘENÍ	31
3.6. VÝSLEDKY MĚŘENÍ	33
3.6.1. Velikost deformací	33
3.6.2. Konečné rozměry po zakalení.....	34
3.6.3. Kuželovitost po zakalení	35
3.6.4. Ovalita po zakalení.....	36
3.6.5. Deformace tvaru vnitřního drážkování	36
3.6.6. Průběhy tvrdosti	38
4. DISKUZE VÝSLEDKŮ.....	39
5. ZÁVĚR.....	44
6. POUŽITÁ LITERATURA	45
7. SEZNAM PŘÍLOH	46

1. Úvod

Změny rozměrů a tvarů součástí jsou jedním z negativních následků tepelného zpracování materiálu. Zapříčiňují nutnost dodatečných nákladů, potřebných na korekci těchto změn. Proto je v současné době snaha o jejich minimalizaci.

Má bakalářská práce se zabývá srovnáním metody kalení pod lisem a volného kalení, prováděného ve firmě ŠKODA Auto a. s. Hlavním srovnávacím hlediskem je velikost výše uvedených změn, neboli deformací. Cílem této práce je stanovit, za jakých podmínek je možno zpracovávat objímky synchronní spojky třetí až šesté rychlosti vedle nyní používané metody kalení pod lisem i metodou volného kalení, s ohledem na ekonomičnost výroby.

2. Teoretická část

2.1. Používané způsoby tepelného zpracování

2.1.1. Kalení

Při kalení se můžeme setkat s následujícími pojmy:

Kalitelnost je schopnost materiálu dosahovat nerovnovážného stavu. Kalitelné jsou pouze oceli, u nichž může nastat překrystalizace. Feritické a austenitické oceli jsou tedy nekalitelné, stejně tak i oceli s extrémně nízkým obsahem uhlíku (pod 0,03 % C). [8,9, 7]

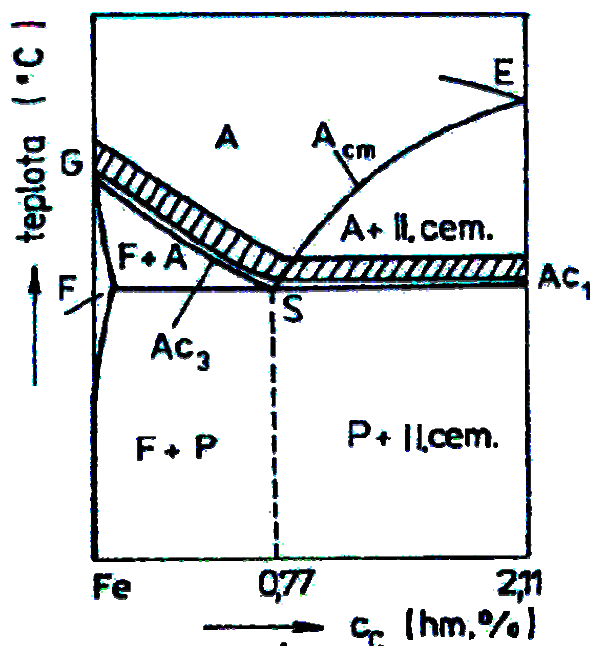
Zakalitelnost je nejvyšší dosažitelná tvrdost oceli (určena především tvrdostí martenzitu). [8]

Prokalitelnost je definována jako schopnost materiálu dosáhnout tvrdosti, odpovídající jeho zakalitelnosti v určité hloubce pod povrchem kalené součásti. Za prokalenou se obvykle považuje vrstva, která má tvrdost odpovídající struktuře s 50 % martenzitu. Prokalitelnost lze změřit například Jomminiovo čelní zkouškou prokalitelnosti. [8, 7]

Kalení je způsob nerovnovážného tepelného zpracování (TZ) oceli. Cílem je získat zvýšenou tvrdost, pevnost a odolnost materiálu proti opotřebení. S rostoucí tvrdostí však klesá

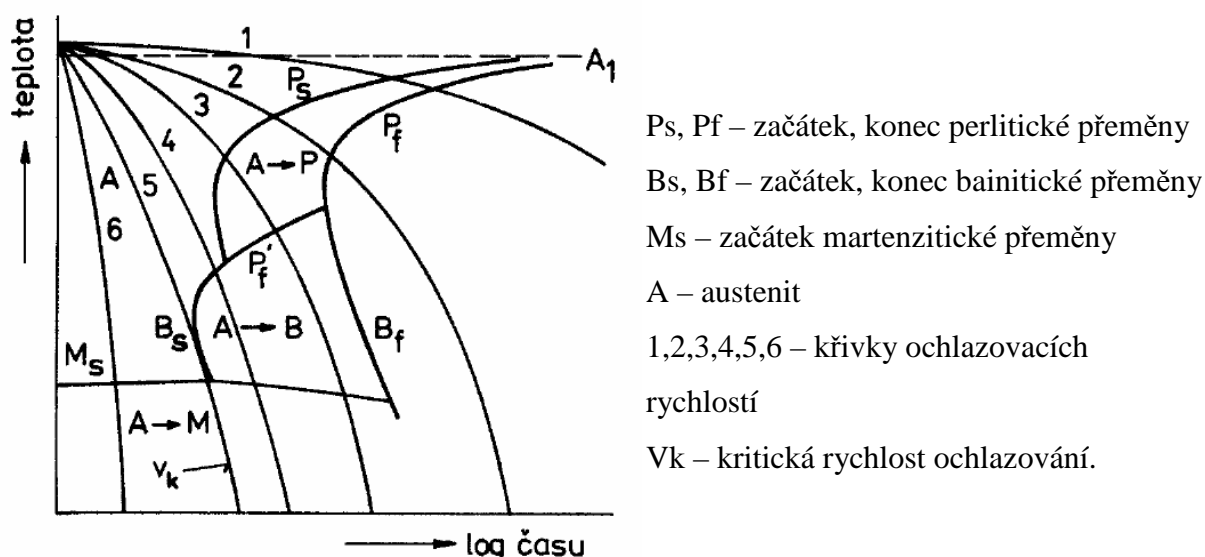
houževnatost. Postup při kalení je následující: Ocel je zahřívána na kalicí teplotu 30 až 50 °C nad teplotu Ac_3 pro podutektoidní oceli, nebo 30 až 50 °C nad teplotu Ac_1 (727°C) pro nadeutektoidní oceli, viz obrázek 1.

V některých případech jsou nadeutektoidní oceli ohřívány nad teplotu A_{cm} . Při těchto teplotách proběhne austenitizace. Původní feriticko-cementitická struktura se přemění na strukturu austenitu.



Obr. 1 Oblast kalicích teplot v Fe-Fe₃C diagramu

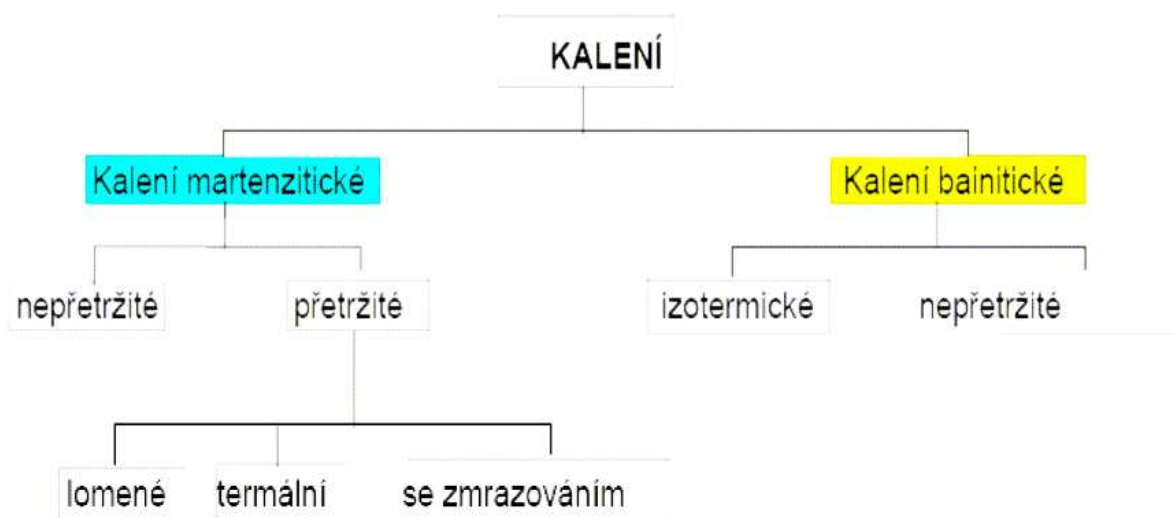
Austenit je intersticiální tuhý roztok uhlíku v železe γ s krychlovou, plošně středěnou mřížkou. Po ohřátí do oblasti austenitu následuje výdrž na teplotě z důvodu jeho homogenizace. Homogenní austenit je poté prudce ochlazen tak, aby v oceli nastal nerovnovážný stav. Podle převažující výsledné strukturní složky, kterou může být buď martenzit nebo bainit, rozdělujeme kalení na martenzitické a bainitické. Výslednou strukturu ovlivňuje celá řadou faktorů. Zejména je to chemické složení oceli a intenzita ochlazovacího média. Strukturní změny při ochlazování austenitu zachycují IRA (izotermický rozpad austenitu) a ARA (anizotermický rozpad austenitu) diagramy. Tyto diagramy jsou specifické pro každou ocel z hlediska chemického složení i stavu austenitu a jsou důležité pro stanovení podmínek tepelného zpracování ocelí. Příklad ARA diagramu pro eutektoidní ocel je na obrázku 2. [8,1]



Obr. 2 Příklad ARA diagramu eutektoidní oceli

ARA diagramy jsou užívány pro stanovení výsledných struktur při dané rychlosti ochlazování. Ochlazovací křivku V_k (Obr. 2) nazýváme kritickou rychlostí. Je to nejmenší rychlost ochlazování, při níž se austenit rozpadá pouze na martenzit. Tvar a pozice ARA diagramu je dána chemickým složením oceli. S rostoucím obsahem uhlíku je začátek (dále M_s) a konec (dále M_f) martenzitické přeměny posouván k nižším teplotám (nad 0,6 % C je M_f pod 0 °C). Legující prvky posouvají celý diagram doprava k delším časům a také (mimo Al a Co) snižují M_s a M_f k nižším hodnotám. Některé legující prvky, typický je např. chrom, oddělují oblast perlitické a bainitické přeměny. [10,1]

Nerovnovážné struktury lze dosáhnout různými metodami, viz obrázek 3.



Obr. 3 Rozdělení metod kalení

2.1.1.1. Martenzitické kalení

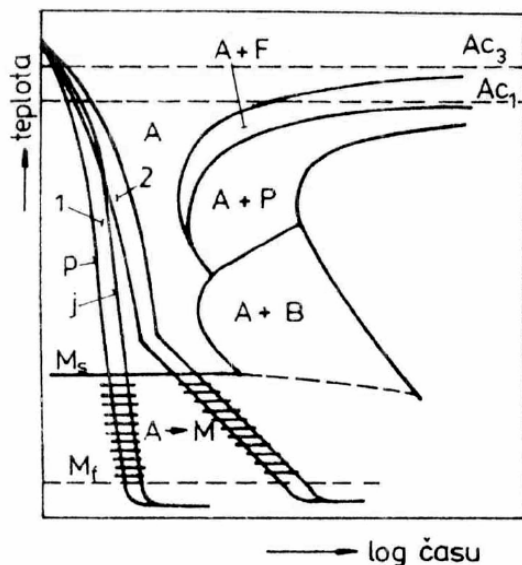
Výsledná struktura je tvořena převážně tzv. martenzitem; nerovnovážným, silně přesyceným tuhým roztokem uhlíku v železe α . Martenzitická přeměna je bezdifuzní. Krystalová mřížka se, vlivem přesycení uhlíkem, deformuje z kubické na tetragonální a v materiálu vzniká pnutí. Přeměna není stoprocentní, zůstává určité nežádoucí procento austenitu, které snižuje tvrdost materiálu a způsobuje rozměrovou nestabilitu. Rychlost ochlazování musí být vyšší než kritická. Teplota počátku i konce martenzitické přeměny je silně ovlivněna obsahem uhlíku a přítomností dalších legur, viz výše. [1,4,10]

Nepřetržité (základní) martenzitické kalení (Obr. 4)

Je nejjednodušším a nejpoužívanějším způsobem kalení. Po ohřevu na kalicí teplotu následuje okamžité, nepřetržité ochlazení až na teplotu kalicího prostředí. Kalicími prostředími jsou nejčastěji voda nebo olej. [4]

Lomené kalení (Obr. 4)

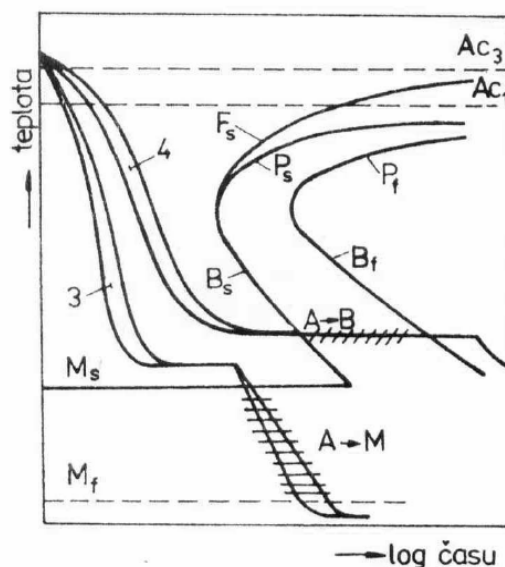
Úkolem je zmenšit rychlost ochlazování v oblasti martenzitické přeměny. Tím se snižují tepelná a strukturní pnutí. Podstata lomeného kalení spočívá v přemístění kaleného dílu při teplotě nad počátkem martenzitické přeměny z intenzivnějšího kalicího prostředí do méně intenzivního (např. z vody do oleje). [4]



Obr. 4 Způsoby kalení

1 – základní kalení

2 – lomené kalení



Obr. 5 Způsoby kalení

3 – termální kalení

4 – izotermické kalení

(Bainitické)

Termální kalení (Obr. 5)

Účelem je minimalizace tepelných pnutí. Součást se nejprve ochladí v termální lázni, jejíž teplota je o několik stupňů vyšší než teplota M_s . Následuje výdrž na teplotě po dobu, než je vyrovnán teplotní gradient povrchu součásti s jádrem. Nakonec dojde k dochlazení na vzduchu a tím k martenzitické přeměně. Metoda se používá pro tenkostěnné nebo členité součásti z konstrukčních nebo nástrojových ocelí. [4,13]

Kalení se zmrazováním

Zakalený předmět je v co nejkratší době po kalení zmrazen za účelem snížení zbytkového austenitu ve struktuře (zvýší se tím obsah martenzitu). Používá se pro výrobky, které mají ukončenu martenzitickou přeměnu pod bodem mrazu a u kterých je důležitá rozměrová stabilita (např. měřidla). [8]

2.1.1.2. Bainitické kalení

Přeměna na tzv. bainit probíhá v rozmezí teplot $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ až M_s . Bainit je tvořen feriticko-karbidickou směsí. Přeměna je částečně difuzní. Difuze je schopen pouze uhlík. U přísadových substitučních prvků a samotného železa k difuzi nedochází. Bainitická přeměna má rysy perlitické i martenzitické přeměny. Podle teploty, při které bainit vzniká, jsou

rozlišovány dva jeho základní druhy – horní a dolní. Horní vzniká při teplotách nad 350 °C, naopak dolní vzniká v rozmezí 350 °C až Ms. [8,4]

Nepřetržitě bainitické kalení

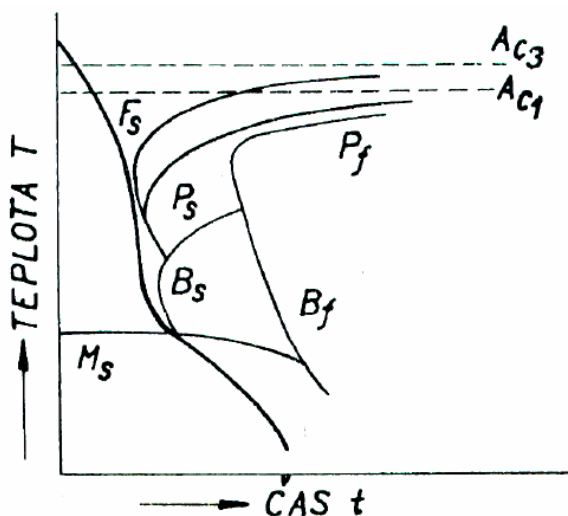
Provádí se obdobně jako martenzitické nepřetržitě kalení. Odlišnost spočívá v pomalejším ochlazování tak, aby křivka ochlazování protнула oblast bainitické přeměny. Vzniklá struktura je tvořena převážně bainitem, nebo směsí bainitu a martenzitu. Lze ho provádět pouze u ocelí s předsunutou bainitickou oblastí v diagramu ARA. [4,14]

Izotermické bainitické kalení (Obr. 5)

Účelem je získat požadované mechanické vlastnosti přímo po kalení bez nutnosti následného popouštění. Kalení probíhá v solných nebo kovových lázních. Po proběhnutí izotermické přeměny se výrobek dochladí na vzduchu. Metoda je používána pro nízko a středně legované součásti středního a menšího průřezu. [4,14]

2.1.1.3. Kalicí prostředí

Kalicí prostředí jsou volena podle potřebné rychlosti ochlazování. Pro kalení ocelí, jejichž kritická teplota je vysoká (uhlíkové oceli), se používají intenzivní kalicí prostředí (např. voda). Pro oceli s nízkou kritickou rychlostí (legované oceli) je vhodnější použít mírnější kalicí prostředí (např. olej, vzduch), protože příliš vysoké ochlazovací rychlosti způsobují vysoký teplotní gradient mezi povrchem a jádrem a tím vysoká tepelná pnutí, které spolu se strukturním pnutím při martenzitické přeměně mohou vést k deformacím až prasknutí kaleného předmětu. Ideální průběh ochlazovací křivky pro martenzitické kalení je na obrázku 6. [8,2]



Obr. 6 Ideální křivka ochlazování při kalení

Intenzitu ochlazování kaliciho prostředí lze upravovat jeho teplotou. Zvýšením teploty prostředí jsou snižovány jeho ochlazovací schopnosti a naopak. Intenzita ochlazování může být zvýšena cirkulací lázně.

Druhy kalicih prostředí:

- Voda
- Olej
- Roztavené solné lázně
- Vzduch
- Roztavené kovové lázně

Voda

Nejintenzivnější kalici prostředí. Předností je vysoká ochlazovací rychlost v oblasti perlitické přeměny, ale nevýhodou je velká intenzita ochlazování i při přeměně martenzitické. Účinnost ochlazování je snížena tzv. „parním polštářem“. Hlavními výhodami jsou nízká cena, snadná dostupnost a ekologická přijatelnost. [8]

Olej

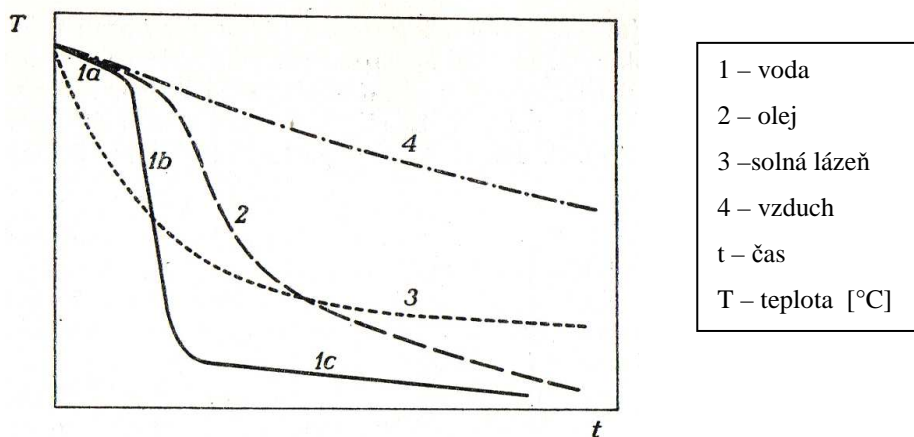
Ochlazování v oleji probíhá podobně jako ve vodě převážně odpařováním. Olej je mírnější ochlazovací prostředí než voda. Ochlazovací rychlost je 3x až 4x menší v oblasti teplot 650 až 550 °C a 10x menší v oblasti martenzitické přeměny. Příznivá je zejména nízká intenzita ochlazování v oblasti martenzitické přeměny. Ochlazování je plynulejší než ve vodě. [10]

Roztavené solné a kovové lázně

Solné lázně se skládají ze směsí solí na bázi dusičnanů. Pro kovové lázně jsou používány taveniny olova a jeho slitin s cínem (neekologické). Teploty lázní se obvykle pohybují mezi 200 až 500 °C. Jsou nepoužitelné pod teplotou tuhnutí. Ochlazovací účinnost je většinou menší než u oleje, ale ochlazování je v celém rozsahu teplot plynulé. [8,10]

Vzduch

Vzduch je nejmírnější ochlazovací prostředí. Používá se pro hluboce prokalitelné oceli (samokalitelné oceli). Ochlazování je plynulé, účinnost lze zvýšit dmýcháním nebo použitím vodní mlhy. [10]



Obr. 7 Průběh ochlazování při kalení v prostředí:

2.1.2. Popouštění

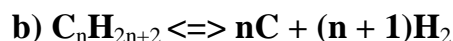
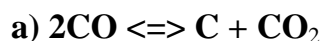
Provádí se jako následná operace bezprostředně po kalení k vytvoření struktur bližších k rovnovážnému stavu. Jeho cílem je snížit úroveň vnitřního pnutí a křehkosti, které vznikly při kalení. Popouštěním se snižuje podíl zbytkového austenitu, ale i tvrdost materiálu. Popouštěný předmět se nejprve ohřeje na teplotu nižší než A_1 , následuje výdrž na této teplotě (běžně 2 hodiny) a pozvolné ochlazení. Podle výšky popouštěcí teploty se dělí na nízkoteplotní a vysokoteplotní popouštění. V případě nízkoteplotního se materiál ohřívá v rozmezí teplot 100 až 300 °C. Jeho účelem je snížení úrovně vnitřního pnutí, zmenšení zbytkového austenitu, zlepšení houževnatosti, případně stabilizování rozměrů při zachování vysoké tvrdosti. Vysokoteplotní popouštění se provádí při teplotách 300 až 650 °C a používá se pro získání vyšší houževnatosti a plasticity na úkor poklesu tvrdosti. Při zvyšování popouštěcí teploty klesá tvrdost, pevnost a mez kluzu všeobecně, zároveň se však zvyšuje plasticita a houževnatost. Zakalením a vysokoteplotním popouštěním vzniká sorbitická struktura; tento postup tepelného zpracování se nazývá zušlechťování. [1,4,8]

Při popouštění se rozlišují čtyři stádia :

1. Do 200 °C; Probíhá přeměna tetragonálního martenzitu na kubický martenzit. Mírně klesá vnitřní pnutí. Z přesyceného martenzitu se uvolňuje uhlík, který precipituje jako přechodový karbid ϵ , jehož chemický vzorec je přibližně Fe_2C . Je tedy bohatší na uhlík než cementit.
2. 200 – 300 °C; Probíhá transformace zbytkového austenitu na bainit.
3. Nad 250 °C; Vzniká cementit Fe_3C a nízkouhlíkový martenzit se přeměňuje na ferit.
4. Nad 500 °C; Dochází k rekrytalizaci feritu a hrubnutí cementitu. Vzniká sorbit. [1,4]

2.1.3. Cementace

Cementace je způsob chemicko-tepelného zpracování, při kterém se povrch oceli sytí uhlíkem. Následným zakalením dílu získáváme vysokou tvrdost povrchu, odolnost proti opotřebení a únavovou pevnost při zachování houževnatého jádra. Cementují se oceli s nízkým obsahem uhlíku (0,1 až 0,3 %). Cementovaný povrch je běžně sycen na 0,8 až 1 % C. Cementace probíhá při teplotách nad A_{c3} , kdy je struktura oceli tvořena austenitem, ve kterém má uhlík větší rozpustnost. Běžně se cementuje do hloubky 1 mm, ve výjimečných případech až do hloubky 2 mm. Rozložení uhlíku v cementované vrstvě závisí na použitém cementačním prostředí, na velikosti cementační teploty, době výdrže na cementační teplotě a chemickém složení cementované oceli, hlavně na obsahu uhlíku a karbidotvorných prvků. Pro přenos uhlíku mezi výrobkem a prostředím jsou důležité tyto dvě reakce:



Při reakcích vzniká volný uhlík, který je schopen difuze do povrchu součásti (reakce a, b).

Sytit povrch uhlíkem lze v kapalném, plynném, nebo tuhém prostředí.

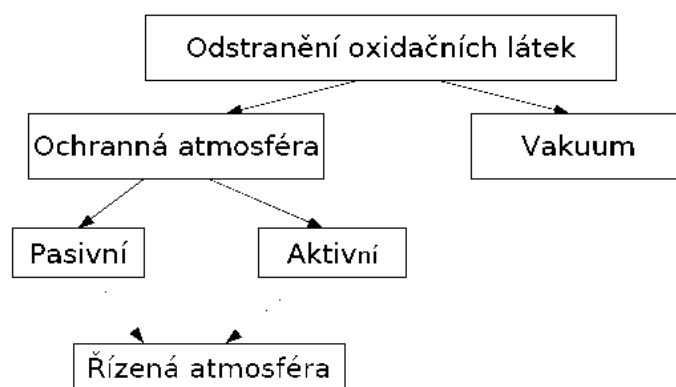
Cementace v tuhém prostředí (v prášku) je dnes již historicky překonaná. Její uplatnění lze v současnosti nalézt jen v kusové výrobě.

Při cementaci v kapalném prostředí se používají například solné lázně. Nauhličení v ní probíhá nejrychleji, ale jsou zde problémy s nebezpečným odpadem, jelikož se používají kyanidy sodné a draselné, které jsou jedovaté.

Cementování v plynu je dnes nejrozšířenější způsob cementace. Plynné prostředí je multikomponentní směs plynů (CO , CO_2 , $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$, H_2O , H_2 , N_2). Cementační atmosféra je obvykle tvořena nosnou endoatmosférou s přídavkem obohacujícího plynu. Tím je například zemní plyn. Složení atmosféry v peci neodpovídá výchozímu složení přiváděnému do pece. Ohřevem a přívodem obohacujícího plynu totiž probíhá reakce mezi jednotlivými složkami. Běžné složení pracovní atmosféry je přibližně 40 % N_2 , 20 % H_2 a H_2O , 20 % CO a CO_2 .[11] Cementační teploty se běžně pohybují v rozmezích 850 až 1050 °C. Vyšší teploty urychlují difuzi uhlíku, ale hrozí hrubnutí austenitického zrna. Cementování v plynu řadíme mezi tepelné zpracování v řízených atmosférách, viz níže.[4,5,11]

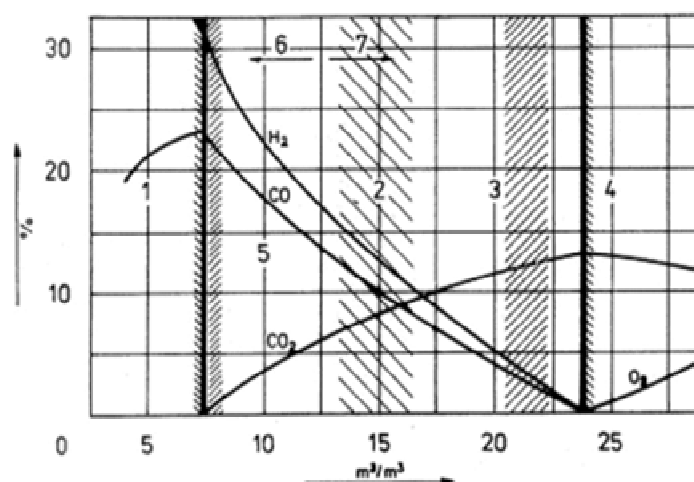
2.1.3.1. Řízené atmosféry

Pomocí řízených atmosfér můžeme buď zabránit výměně složek mezi povrchem materiálu a plynným prostředím, nebo tuto výměnu regulovat. Řízené atmosféry se tedy používají při tepelném zpracování jako ochrana proti oxidaci a oduhličování povrchu materiálu. Atmosféry jsou pasivní, kdy plní pouze funkci ochrany proti oxidaci, nebo aktivní, které navíc sytí povrch některými prvky jako jsou uhlík nebo dusík.



Obr. 8 Řízené atmosféry jako jeden ze způsobů ochrany proti oxidaci při TZ

Základem řízených atmosfér je reakce uhlovodíkových látek se vzduchem při teplotě 1100 °C. Složení vzniklé plyné směsi závisí na poměru jednotlivých reagujících složek vzduchu a uhlovodíku. Při dostatečném množství přiváděného vzduchu probíhá chemická reakce, při které vzniká dostatek tepla, aby tato reakce probíhala samovolně bez nutnosti dodávání tepla z okolí. Jedná se o exotermickou reakci. Při nižším množství vzduchu je nutno teplo pro udržení reakce dodávat z okolí. Probíhající reakce je pak endotermická, hovoříme tedy o endoatmosféře. Na obrázku 9 je uveden spalovací diagram propanu. [3,5]



- osa X - poměr vzduch – propan
osa Y - složení řízené atmosféry
- 1 - volný C (saze)
 - 2 - atmosféra pro lesklé žíhání
 - 3 - inertní atmosféra
 - 4 - volný kyslík (oxidace)
 - 5 - nenauhličující atmosféra
 - 6 - endotermické atmosféry
 - 7 - exotermické atmosféry

Obr. 9 Spalovací diagram propanu

Spalovací diagramy ostatních plynů mají obdobný průběh jako propan (Obr. 9). V praxi se používá pouze oblast, která je na diagramu vymezena dvěma vertikálními čarami. Nalevo od této oblasti dochází k vylučování sazí. Napravo pak k výskytu volného kyslíku. Uprostřed oblasti je pásmo pro lesklé žíhání. Těsně na hranici tvorby sazí se nachází úzké pásmo pro nahličování. U hranice volného kyslíku je pásmo inertního plynu. V oblasti mezi nahličujícím plynem a plynem pro lesklé žíhání je přechod z endotermické na exotermickou atmosféru. [3]

2.2. Deformace

Změny tvaru a rozměru výrobků jsou průvodní jevy při tepelném zpracování. Jedná se o změny nežádoucí, nelze je však zcela odstranit. [4]

2.2.1. Druhy deformací při tepelném zpracování

Deformace lze rozdělit na objemové a tvarové.

2.2.1.1. Objemové

Jsou vyvolány změnou objemu v důsledku fázových změn v materiálu. Austenitizace je spojena s objemovým smrštěním, zatímco martenzitická přeměna s nárůstem objemu. Velikost změn rozměrů souvisí s obsahem uhlíku v martenzitu. Čím vyšší je jeho obsah, tím větší je objemová změna. S rostoucím podílem zbytkového austenitu po kalení jsou objemové přírůstky menší. Přírůstek rozměrů po kalení se částečně zmenší následným popouštěním. Tento druh deformací je méně problematický, neboť jej lze částečně kompenzovat vhodně volenými přísadkami před tepelným zpracováním. [4,2]

2.2.1.2. Tvarové

Tvarové deformace jsou způsobovány především pnutím, které vzniká v průběhu tepelného zpracování (viz kapitola 2.2.2.) Velikosti změn geometrických tvarů a jejich výskyt je ovlivňován celou řadou faktorů (od konstrukčního návrhu až po vlastní zpracování). Mimo pnutí tepelná a strukturní mají na úroveň deformací po tepelném zpracování vliv i zbytková pnutí, která vznikla ve výrobku před TZ. Jsou jimi například pnutí způsobená tvářecí texturou, zpevněním povrchu při třískovém obrábění atp.

Tvarovým změnám nelze efektivně předcházet korekcemi, jedinou možností je optimalizace volby materiálu, konstrukce součásti a jejího tepelného zpracování. [4]

2.2.2. Vnitřní pnutí při kalení

Nedílnou součástí nerovnovážného tepelného zpracování je vznik vnitřních pnutí. Při vysokých hodnotách jsou jejich vnějším projevem plastické deformace nebo vznik trhlin.

Vnitřní pnutí ovlivňují tyto faktory:

- 1) druh a vlastnosti oceli:
 - tepelná vodivost; prokalitelnost
 - tepelná roztažnost
 - tvárnost
 - homogenita
- 2) konstrukce dílu – jeho tvar a velikost
- 3) teplotní gradienty uvnitř součástí při tepelném zpracování
- 4) podmínky austenitizace
- 5) pnutí vzniklé při obrábění
- 6) způsob a podmínky kalení

Pnutí je u oceli tím větší, čím větší je tepelná roztažnost a čím menší je její tepelná vodivost, prokalitelnost a tvárnost. Vnitřní pnutí je tím větší, čím hrubší je austenitické zrno a nedokonaleji proběhla jeho austenitizace a čím větší byly změny objemu při martenzitické přeměně. Vnitřní pnutí vzrůstá s rozdílem teplot mezi kalenou součástí a ochlazovacím prostředím, i s kalicí rychlostí prostředí. Vyšší rychlost ochlazování totiž způsobuje větší rozdíly teplot povrchu a jádra součásti, a tedy větší smrštění povrchu a jádra vlivem teplotní roztažnosti. Nesprávná kalicí lázeň, její špatné proudění a malá čistota předmětu rovněž zvětšují pnutí. Na pnutí má vliv i předchozí obrábění dílu. Je způsobeno místními změnami struktury vlivem ohřátí obráběné plochy, deformačním zpevněním atd. U masivních předmětů je pnutí větší, protože se více projevuje rozdíl teploty povrchu a jádra. [4,2]

2.2.3. Odstraňování/snižování deformací:

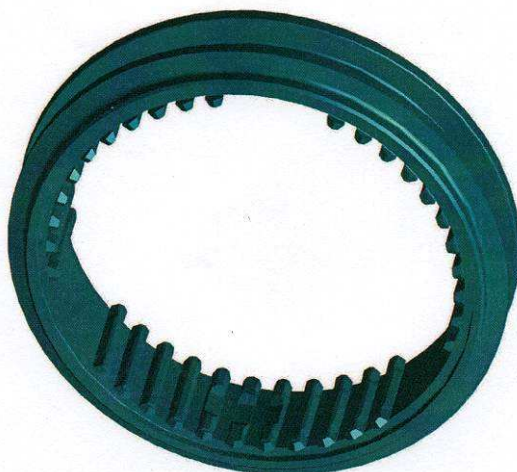
Vnitřní pnutí, vzniklé při kalení, lze snížit několika způsoby:

- a) Ovlivněním mechanického a tepelného zpracování (levnější a většinou efektivnější):
 - stupňovitý ohřev a pozvolnější ochlazování (Zmenší se tím velikost vznikajícího vnitřního pnutí mezi jádrem a povrchem, a tím i velikost deformací.)
 - ochlazování stejnou rychlostí po celém povrchu (Místa, která chladnou rychleji, jsou vlivem teploty méně roztažená a tím dochází ke kroucení materiálu.)
 - homogenita materiálu
 - vhodná konstrukce dílu (velikost a tvar)
 - minimální pnutí vzniklé při obrábění
- b) Dodatečnými opatřeními – např. dokončovacím broušením nebo rovnáním.

3. Experimentální část

3.1. Objímka synchronní spojky 3. – 6. rychlosti

Předmětem pro zkoumání deformací u obou metod kalení byla objímka synchronní spojky. Jedná se o součást synchronizace v převodové skříni automobilů značky ŠKODA.



Obr. 10 Objímka synchronní spojky 3. – 6. rychlosti

V jedné převodovce MQ 200 se nachází celkem dvě tyto součástky. Jejich pohybem na jádru po hřídeli dochází k řazení jednotlivých stupňů rychlosti. Objímka má dvě funkční části. Vnější drážku pro vidličku, která je spojena s řadící pákou a vnitřní drážkování, které při zařazení zajistí spojení volně uloženého ozubeného kola s hřídelí. Tím se započne přenášet krouticí moment z hřídele na ozubené kolo. Na výrobu dílů se používá legovaná, jemnozrnná cementační ocel, viz tabulka 1. [12]

C	Si	Mn	P	S	Cr	Al	N
0,14 až 0,22	≤ 0,12	1,00 až 1,50	≤ 0,035	0,020 až 0,035	0,80 až 1,30	0,015 až 0,040	≤ 0,015

Tab. 1 Složení materiálu objímek

Drážkování je silně namáháno, a proto jsou na materiál objímky kladeny vysoké nároky. Z toho důvodu je objímka zpracovávána cementací a následným kalením. Pro zachování maximální tvrdosti po kalení je součástka popouštěna na nízké teploty. Díl je ještě po

tepelném zpracování pevnostně tryskán pro zpevnění a očištění povrchu. Na závěr se před montáží honuje hlavový průměr drážkování a tvrdě soustruží drážka pro vidličku. [12]

3.2. Použitá zařízení pro tepelné zpracování ve ŠKODA Auto

3.2.1. Karuselová pec IPSEN (kalení pod lisem)

V této peci je používána metoda kalení pod lisem. Na hale M2 se nachází celkem dvě tyto pece. Obě jsou určeny pouze pro zpracování objímek synchronní spojky. Základem této pece je otočný stůl, poháněný elektromotorem. Na tento stůl jsou umísťovány zpracovávané součásti.

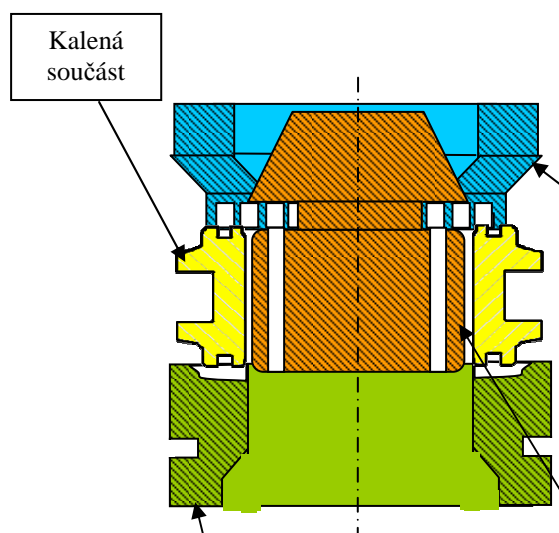
Otočný stůl je osazen 36 pozicemi pro ukládání roštů s objímkami. Každá pozice má 4 patra. Do každého patra lze uložit jeden rošt. Na každý rošt přijdou dvě objímky 3. až 6. rychlosti a jedna objímka 1. a 2. rychlosti. Na obrázku 11 je vyfotografován rošt s objímkami před vložením do pece.



Obr. 11 Vkládání roštu s objímkami do pece

Rotací otočného stolu se díly pohybují pecí a zároveň jsou ohřívány na teplotu 880 °C. Spolu s ohřevem se povrch součástí cementuje do hloubky 03, až 0,5 mm.

Ohřev a cementace trvá 2 hodiny. Do pece je vháněn endotermický plyn a methan. Nauhličovací schopnost samotného endoplynu je nízká, zvýší se až po proběhnutí endotermické reakce s methanem. Přívod endoplynu a methanu je elektronicky regulován tak, aby vzniklá pecní atmosféra měla uhlíkový potenciál 0,9 % C. Hodnota uhlíkového potenciálu udává v hmotnostních procentech podíl uhlíku v povrchu cementovaného materiálu po dokončení cementace. Pro rovnoměrnější ohřívání a cementování objímek v jednotlivých patrech je na stropě pece připevněn ventilátor, zajišťující proudění atmosféry. Po ukončení ohřívacího a cementačního procesu vyjíždí rošt s objímkami ven z pece a ty jsou pomocí manipulátoru přesunuty do kalícího lisu značky HEESS. Zde v první fázi dojde k vlastnímu kalení pod lisem. Schéma objímky v kalícím lisu je na obrázku 12. Po zakalení jsou součásti popouštěny po dobu 45 minut při teplotě 165 °C. [12]



Obr. 12 Schéma kalícího lisu



Obr. 13 Horní část kalícího lisu

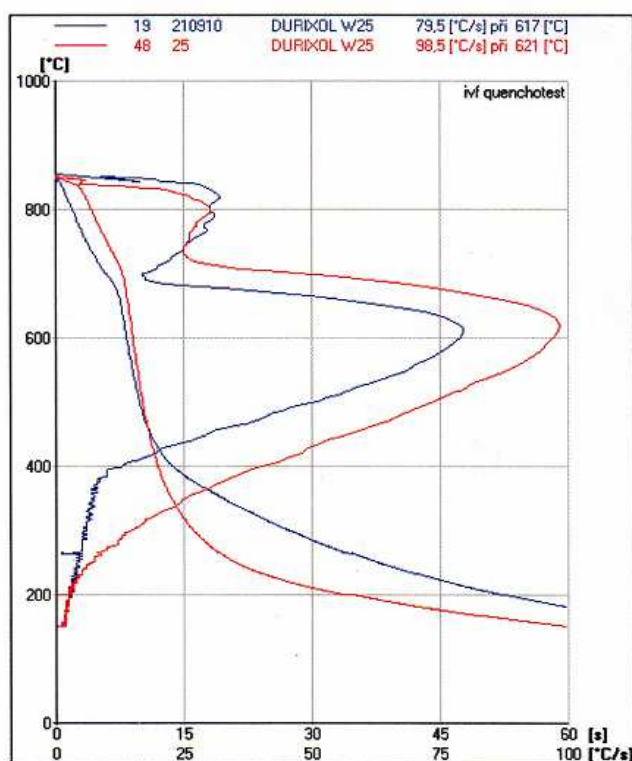


Obr. 14 Spodní část kalícího lisu



Obr. 15 Kalicí trn HEESS s otvory pro proudění kalícího oleje

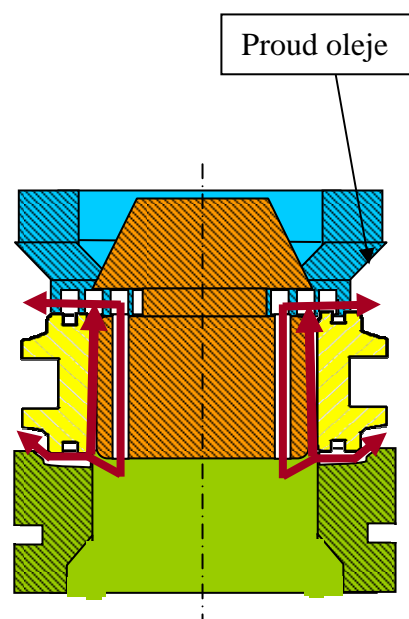
Jak je patrné ze schématu výše, objímka je při kalení pod lisem zafixována ze tří stran. Kalicí trn (obr. 15) koriguje rozměry otvoru objímky, jeho ovalitu a kuželovitost. Horní (obr. 13) a spodní (obr. 14) část lisu brání zkroucení tvaru objímky. Kalicí trn má v sobě otvory, které slouží k rozvádění kalicího oleje a ochlazování trnu. Stejně tak pro rozvod kalicího oleje slouží i zuby na horní a dolní části lisu (Obr. 17). V kalicím lisu jsou celkem 3 výše uvedené trny. Dva jsou určeny pro objímky 3. až 6. rychlosti a jeden pro objímky 1. a 2. rychlosti. Při experimentu byly použity první dva zmíněné. Dále jsou v textu značeny jako trn 1 a trn 2. V karuselové peci se používá kalicí olej DURIXOL W 25. Jeho ochlazovací křivky jsou uvedeny níže na obrázku 16. [12]



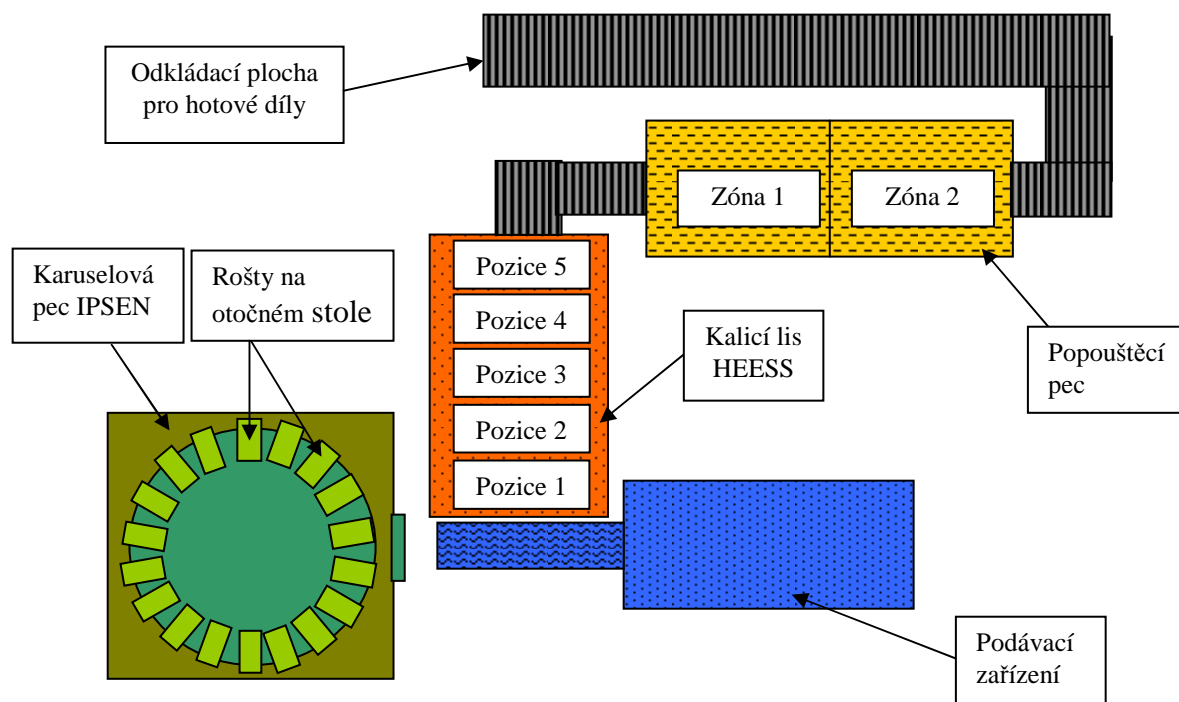
Obr. 16 Ochlazovací křivky oleje DURIXOL W 25

Červeně – nový olej

Modře – starý olej



Obr. 17 Proudění kalicího oleje lisem



Obr. 18 Schéma linky pro kalení pod lisem

V kalicím lisu proběhnou po kalení (obr. 18, pozice 1) ještě postupně operace dochlazení v oleji (obr. 18, pozice 2), odkapání kalícího oleje (obr. 18, pozice 3) a praní nanečisto (obr. 18, pozice 4) i načisto (obr. 18, pozice 5). Všechny operace v lisu proběhnou v taktu 51 sekund. Na konci linky je popouštěcí pec.

3.2.2. Průběžná pec AICHELIN (volné kalení)

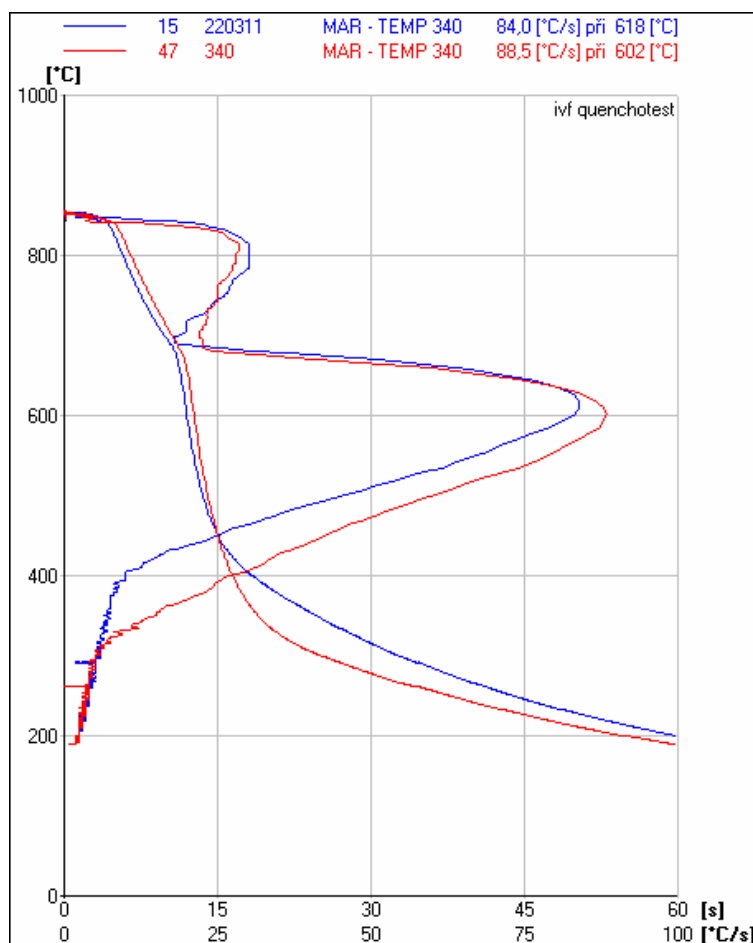
Tato pec reprezentuje metodu volného kalení. Na hale M2 se nachází celkem čtyři. Každá z nich je optimalizována pro tepelné zpracování jiných dílů. Žádná není nastavena přímo pro zpracovávání objímek. Pro experiment byla vybrána pec číslo 3, která se nejvíce blíží podmínkám tepelného zpracování v karuselové peci. Tato pec je běžně využívána pro tepelné zpracování ozubených kol první až páté rychlosti a hnaného kola rozvodovky. Stejně jako v karuselové peci jsou zde díly cementovány do hloubky 0,3 až 0,5 mm. Atmosféra uvnitř pece je opět tvořena endoplynnem a methanem. Pro urychlení difuze je navíc přiváděn čpavek. Pec má celkem tři samostatně nastavitelné zóny. V každé zóně lze nastavit jiný uhlíkový potenciál a jinou teplotu i přesto, že jednotlivé zóny nejsou odděleny. Nastavené parametry zón jsou uvedeny níže v tabulce 2.

Zóna:	Nastavená teplota [°C]	Uhlíkový potenciál
1	900	neupravován
2	890	0,95%
3	830	0,85%

Tab. 2 Nastavené parametry průběžné pece

Výrobek se pohybuje směrem od první ke třetí zóně. Teplota a uhlíkový potenciál začínají na vyšších hodnotách a postupně se snižují. Tento postup zajistí rychlejší difuzi uhlíku do povrchu a menší pokles tvrdosti materiálu s rostoucí hloubkou. Kalení probíhá v kalicím oleji MAR TEMP 340 o teplotě 120 °C. Jeho ochlazovací křivky jsou uvedeny v na obrázku 19.

[12]

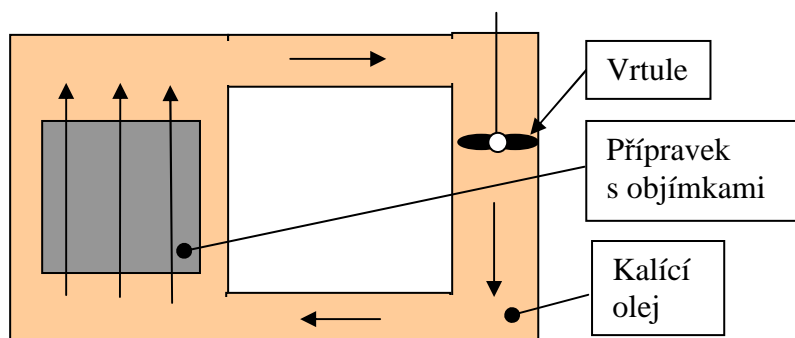


Obr. 19 Ochlazovací křivky oleje MAR TEMP 340

Červeně – nový olej

Modře – starý olej

Odvod tepla při kalení je urychlen prouděním oleje, které je zajištěno vrtulí, točící se 750 otáček za minutu. Schéma proudění lázně je na obrázku 20. Doba kalení trvá 4 minuty. Narozdíl od karuselové pece díly před kalením neopouští pec, ale kalicí nádrž je přímo její součástí. [12]



Obr. 20 Schéma proudění kalící lázně

Po kalení následuje praní a popouštění. Popouštěcí pec má také tři samostatně regulovatelné zóny, používá se však sjednocená teplota 145 °C. [12]

3.3. Rozmístění dílů v přípravcích, použité přípravky

3.3.1. V karuselové peci (kalení pod lisem)

Podmínky při ohřevu a cementaci jsou pro všechny zpracovávané díly v peci stejné. Při pohybu pecí, jak již bylo zmíněno, jsou díly naloženy na roštu POSE – MARE. Z hlediska rozmístění je nutno pouze rozlišit objímky, které byly při výstupu z pece kaleny na prvním a které na druhém trnu. Při experimentu bylo na každý trn umístěno 40 dílů běžným způsobem a dalších 20 dílů v obrácené poloze. Celkem tedy bylo použito 120 vzorků.

3.3.2. V průběžné peci (volné kalení)

Vzhledem k tomu, že se v těchto pecích běžně objímky nezpracovávají, bylo v první fázi pro tuto metodu kalení nutno zvolit vhodné přípravky, ve kterých budou vkládány objímky do pece. Pro experiment byly použity dvě varianty přípravků, které jsou vyobrazeny na obrázcích 21 a 22.



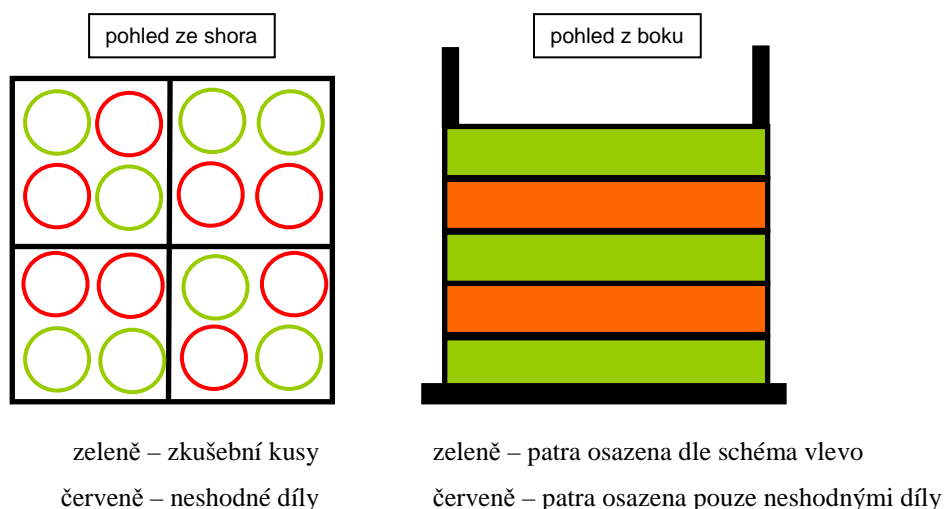
Obr. 21 Přípravek pro TZ objímek
v průběžné peci: přípravek varianta A



Obr. 22 Přípravek pro TZ objímek
v průběžné peci: přípravek varianta B

3.3.2.1. Přípravek varianta A

V případě varianty A byly objímky skládány na síta do prostorů mezi rámem. Rám rozděljuje prostor, do kterého se umisťují objímky, na 4 části. Do každé části rámu lze umístit celkem 4 objímky. V jednom patře je tedy celkem 16 objímek. Přípravek má celkem 5 pater. Při experimentech nebyly všechny pozice obsazovány testovanými díly. Zbylé pozice byly vyplněny „zmetky“ z důvodu zachování podmínek, za kterých by byl materiál zpracováván v běžné sériové výrobě. Prázdnými pozicemi by bylo způsobeno odlišné proudění oleje při kalení, případně i odlišné proudění plynu při cementaci. Na obrázku 23 na další stránce je schematicky vyobrazeno rozložení zkušebních dílů v přípravku.

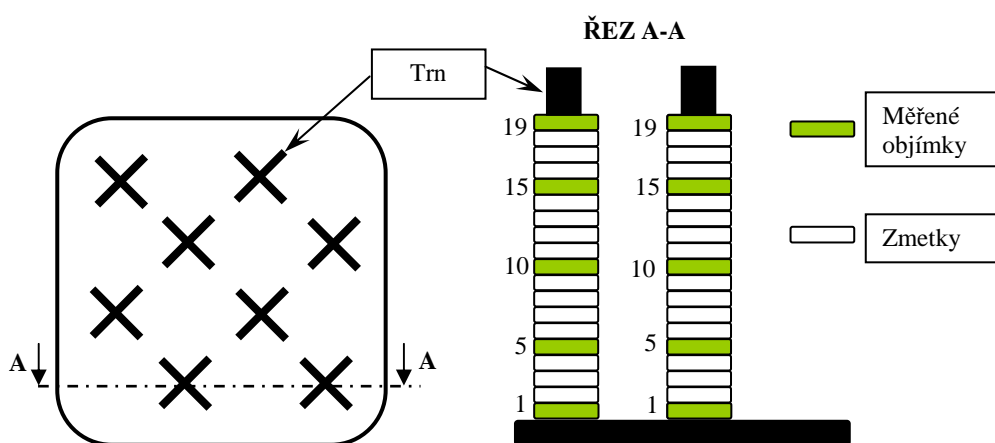


Obr. 23 Rozložení zkouškových dílů v přípravku

Aby byly co nejvíce zajištěny stejné podmínky pro všechny zpracovávané kusy, byly hlídány velikosti mezer mezi nimi (přibližně 10 mm), i mezi kusem a krajem (přibližně 15 mm). I toto totiž může mít vliv na proudění oleje.

3.3.2.2. Přípravek varianta B

V tomto přípravku je materiál navlékán na osm dlouhých trnů. Mezi objímkou a trnem je značná vůle (přibližně 20 mm). To může způsobovat vychylování zpracovávaných dílů do různých směrů a tím výrazně ovlivňovat proudění kalícího oleje. Stejně jako u varianty A, ani zde nebyly zaplňovány všechny pozice vyhodnocovanými kusy. Schéma rozmístění testovaných dílů v přípravku je na obrázku 24 a 25.



Obr. 24 Schéma rozmístění trnů v přípravku (pohled shora)

Obr. 25 Schéma rozmístění objímek v přípravku pohled z boku (v jedné rovině)

Tento přípravek byl použit pouze jednou, protože v průběhu tepelného zpracování došlo k ulomení jednoho z trnů. Firma z obavy opakování incidentu a následné možnosti vzpříčení, nepovolila další pokusy s tímto přípravkem. Výsledky jsou zde i přesto uváděny. Jejich prostřednictvím chci poukázat na to, že přípravek, který byl v minulosti firmou pro tepelné zpracování objímek běžně používán, je pro budoucí použití nevhodný.

3.4. Provozní náklady pecí

Při tepelném zpracování je spotřebováváno velké množství energií. To činí výrobu značně nákladnou. Při provozu kalicí linky se zejména spotřebovává velké množství plynů na tvorbu pecní atmosféry a vytápění pece. Při popouštění je spotřebováváno značné množství elektrické energie. Výrobu dále prodražuje spotřeba oleje a vody. Výpočet provozních nákladů je uveden v tabulce 3 a 4.

Karuselová pec + lis			
Medium	Spotřeba/hod.	Cena[Kč]/medium	Cena[Kč]/hod
Olej (O)	0,5	40	20
ENDO	20	3,2	64
Čpavek (NH ₃)	2	19,2	38,4
Dusík (N)	5	2,59	12,95
Zemní plyn (ZP)	24	8	192
El. Energie (kW)	85	4,2	357
Voda (H ₂ O)	12	4,3	51,6
			Σ = 735,95

Cena celkem/hod.	735,95
Počet dílů/hod.	211,00
Cena/díl [Kč]	3,49

Tab. 3 Provozní náklady karuselové pece

Průběžná pec AICHELIN			
Medium	Spotřeba/hod.	Cena[Kč]/medium	Cena[kč]/hod
Olej (O)	12	40	480
ENDO	40	3,2	128
Čpavek (NH ₃)	4	19,2	76,8
Dusík (N)	5	2,59	12,95
Zemní plyn (ZP)	45	8	360
El. Energie (kW)	120	4,2	504
Voda (H ₂ O)	14	4,3	60,2
			Σ = 1621,95

Cena celkem/hod.	1621,95
Počet vsázek/hod.	4,29
Cena/vsázka [Kč]	378,46
Cena/díl [Kč]	2,52

Tab. 4 Provozní náklady průběžné pece

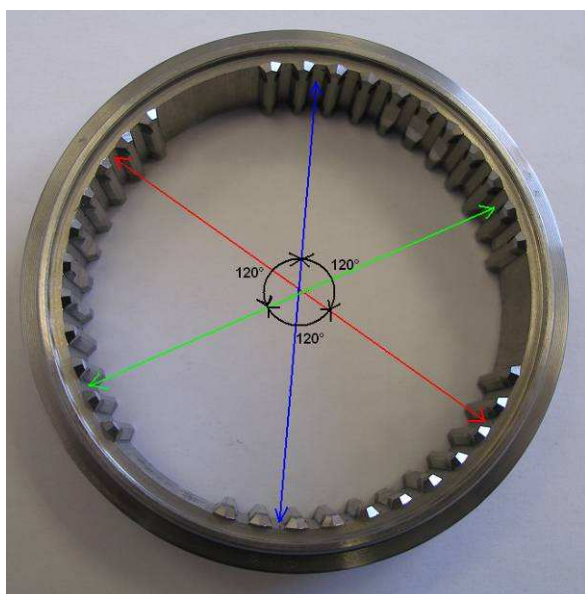
Z vypočtených hodnot bylo zjištěno, že náklady na provoz karuselové pece jsou o 38,5 % vyšší.

3.5. Popis způsobu měření

Základem pro vyhodnocení velikosti deformace byla velikost míry přes kuličku vnitřního drážkování objímky, dále jen Mdk.

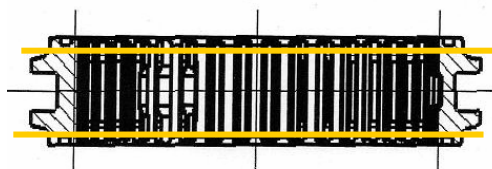
Rozměry byly měřeny ve dvou rovinách, ve vzdálenosti 4 mm od čelních ploch (obr.26).

V každé rovině byly změřeny Mdk na třech pozicích (obr. 27). Celkem tedy bylo na objímce změřeno šest hodnot. Pro identickou mezizubovou mezeru byly vždy změřeny dva rozměry, v každé rovině jeden. Měření v horní i dolní části objímky bylo prováděno vždy s pootočením dílu o 120° , viz obrázek 27.



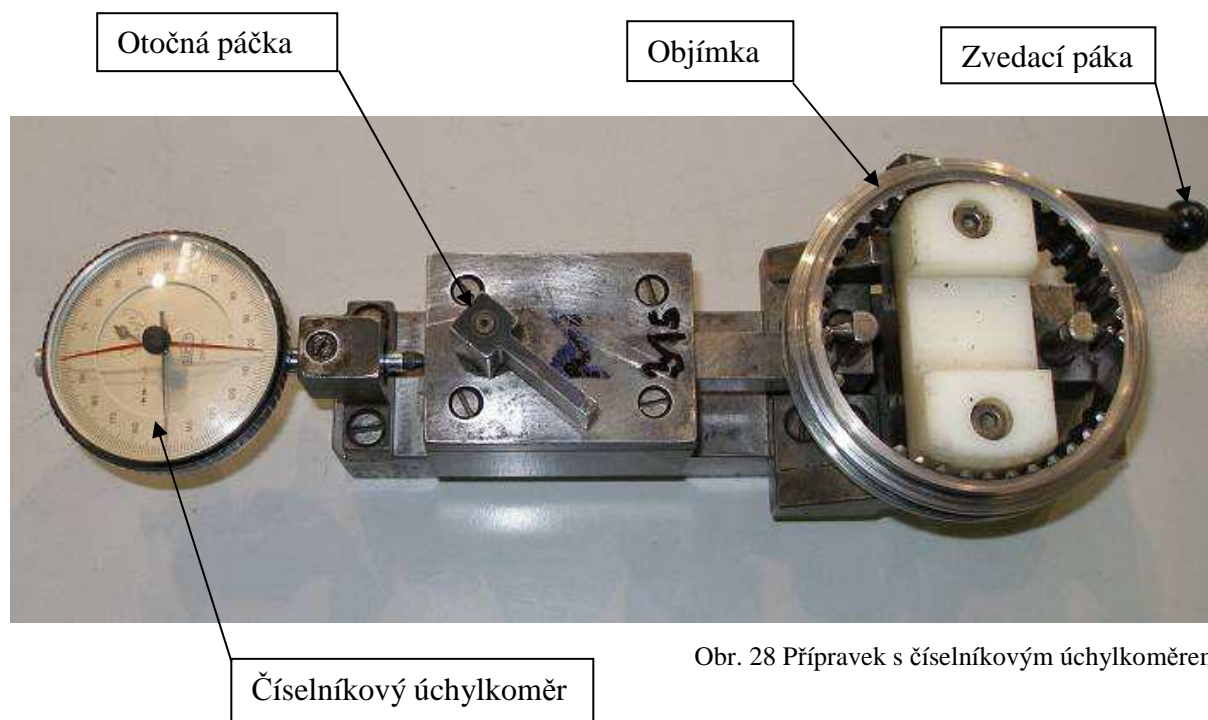
Obr.27 Místa měření

- 1. pozice měření
- 2. pozice měření
- 3. pozice měření



Obr.26 Roviny měření

Pro měření byl používán přípravek s číselníkovým úchylkoměrem (obr. 28 a 29). Pomocí červených ručiček je vymezen rozsah, ve kterém se mohou naměřené hodnoty pohybovat, mimo ně se jedná o „zmetek“. Otočnou páčkou uprostřed měřidla se provádí samotné měření. Páka napravo slouží k přizdvihnutí, respektive ke spuštění měřeného dílu, aby mohla být změřena Mdk v horní nebo dolní rovině.



Obr. 28 Přípravek s číselníkovým úchylkoměrem

Měřidlo neměří přímo celkovou velikost Mdk objímky, ale pouze odchylku od rozměru etalonu. Rozměr je možno dopočítat dle vzorce (1):

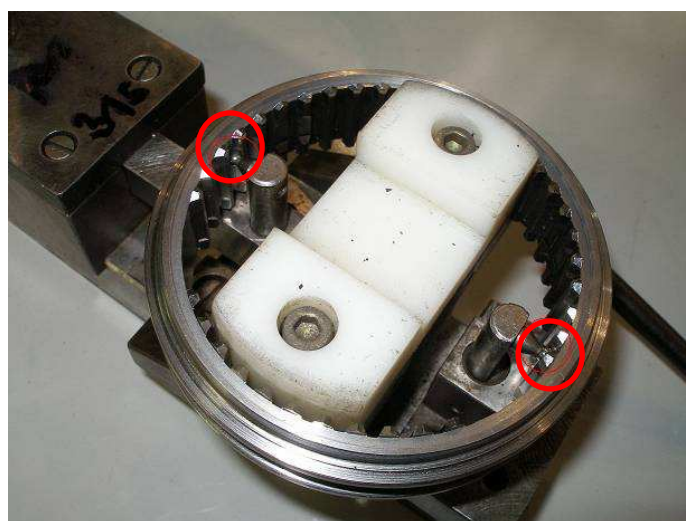
$$Mdk = Mdk_{etalon} + X \quad (1)$$

Mdkmíra přes kuličky objímky

Mdk_{etalon}míra přes kuličky etalonu

Xzměřená odchylka od etalonu

Pro vyhodnocování deformací je postačující znalost odchylek od etalonu.



Obr. 29 Detail usazení objímky v měřícím přípravku
Červeně jsou zakroužkovány měřicí dotyky

Díly byly nejprve změřeny před tepelným zpracováním a následně po něm. Pro jejich zpětné rozpoznání po průchodu pecí, nezbytné pro vyhodnocení deformací, byla každá objímka označena v jednotlivých měřených pozicích. Očíslování bylo provedeno pomocí ruční elektrické frézy nebo vzduchové popisovačky.

3.6. Výsledky měření

3.6.1. Velikost deformací

Velikost deformace vlivem tepelného zpracování byla určena jako rozdíl odchylky rozměrů dílu od etalonu před TZ a odchylky rozměrů od etalonu po zakalení, dle vzorce (2):

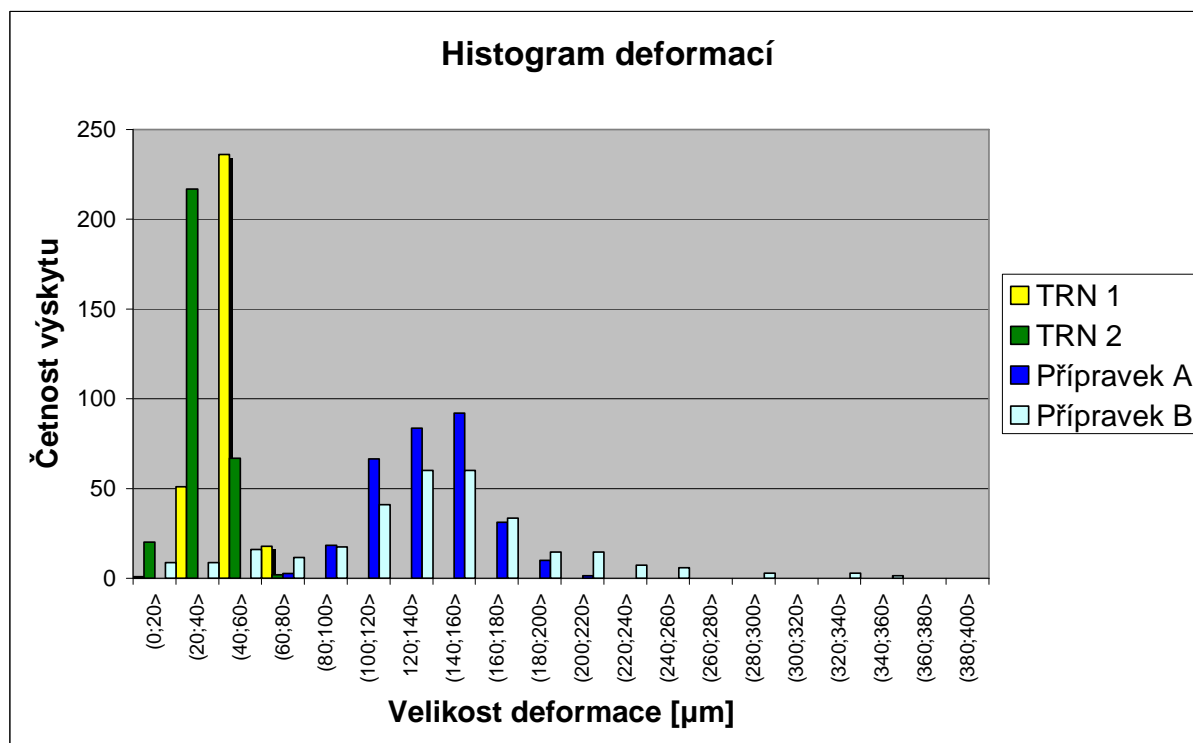
$$Def = X_1 - X_2 \quad (2)$$

Def.....velikost deformace

X_1odchylka od etalonu po TZ

X_2odchylka od etalonu před TZ

Souhrnné výsledky velikostí deformací jsou na následujícím grafu:



Graf 1

Trn 1 a 2 - kalení pod lisem
Přípravek A, B - volné kalení

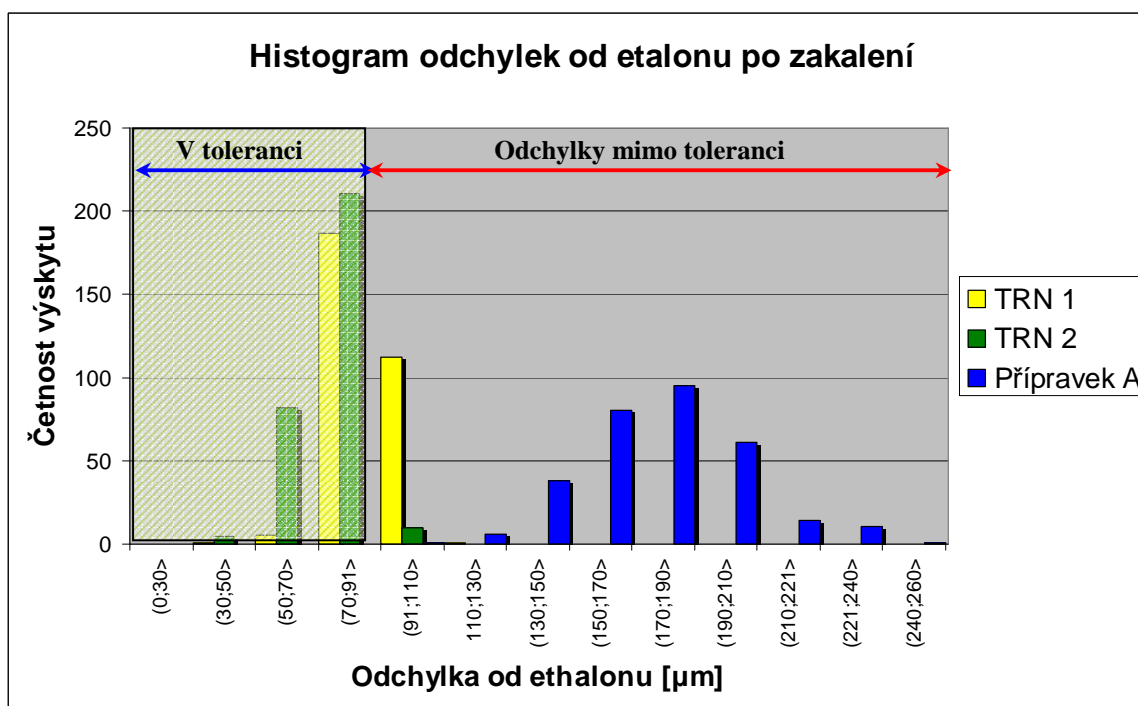
Z grafu je patrné, že nejméně se deformují objímky v karuselové peci, která je reprezentována trnem 1 a 2. Trn 1 vykazuje oproti trnu 2 větší deformace.

Díly zpracovávané v průběžné peci reprezentované přípravkem A a B se průměrně deformují až 3,3x více než v karuselové peci.

Vzhledem k zákazu dalších experimentů s použitím přípravku B a vzhledem k dosavadním výsledkům měření, dle kterých shledávám přípravek B jako nejhorší z použitých variant tepelného zpracování objímek, nebude tato varianta v dalších grafech uváděna.

3.6.2. Konečné rozměry po zakalení

Výsledky v grafu 2 zanedbávají velikosti rozměrů před tepelným zpracováním a zaměřuje se pouze na finální odchylku změřených hodnot od etalonu. Hodnoty tedy nevypovídají o tom, jak velká deformace v dílu nastala, ale jsou směrodatné pro stanovení, zda díly po tepelném zpracování vyhovují, či nikoliv.



Graf 2 Histogram odchylek od etalonu po TZ

Povolená odchylka od etalonu je pro zakalené díly 0 až 91 μm. Rozmezí splňuje 97 % rozměrů dílů, zpracovaných na trnu 2, a 63 % na trnu 1. Všechny rozměry objímek, zpracovaných v průběžné peci, byly mimo předepsané rozmezí. Průměrná odchylka od etalonu je pro trn jedna 88,7 μm, pro trn dva 75,6 μm a pro přípravek A 176,5 μm.

3.6.3. Kuželovitost po zakalení

V tomto grafu byly zohledněny rozdíly Mdk v horní a dolní části objímky. V převážné většině případů se jedna strana stahuje (zmenšuje se její vnitřní průměr) více než druhá a tím v podstatě vzniká nerovnoměrný kužel. Proto bude tento jev dále v textu označován jako kuželovitost.

Kuželovitost byla počítána podle vzorce (3):

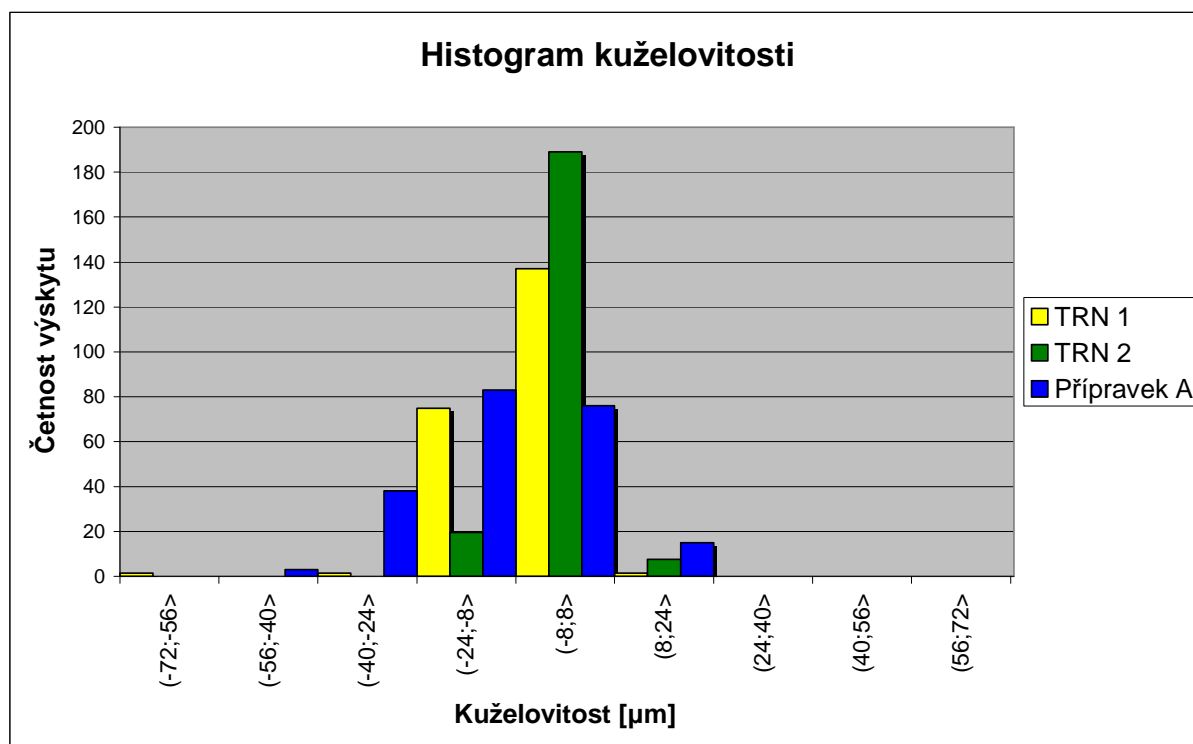
$$\text{Kuželovitost} = \text{HMdk} - \text{DMdk}$$

(3)

HMdk....Odchylka od etalonu v drážce v horní části

DMdk....Odchylka od etalonu v drážce v dolní části

Čím větší je hodnota kuželovitosti, tím více je tvar objímky deformován. Je tedy žádoucí, aby se hodnota kuželovitosti co nejvíce blížila nule.



Graf 3 Histogram kuželovitosti

Z grafu lze vyčíst, že trn 2 vyrábí z 88 % díly s téměř válcovým otvorem (maximální rozdíl průměrů 8 μm). Na trnu 1 se ve 35 % případů více deformuje spodní část objímky. Ve zbývajících 64 % je opět, jako v případě trnu 2, kuželovitost téměř nulová. V průběžné peci se spodní část v 18 % případů deformuje až o 40 μm více než horní.

3.6.4. Ovalita po zakalení

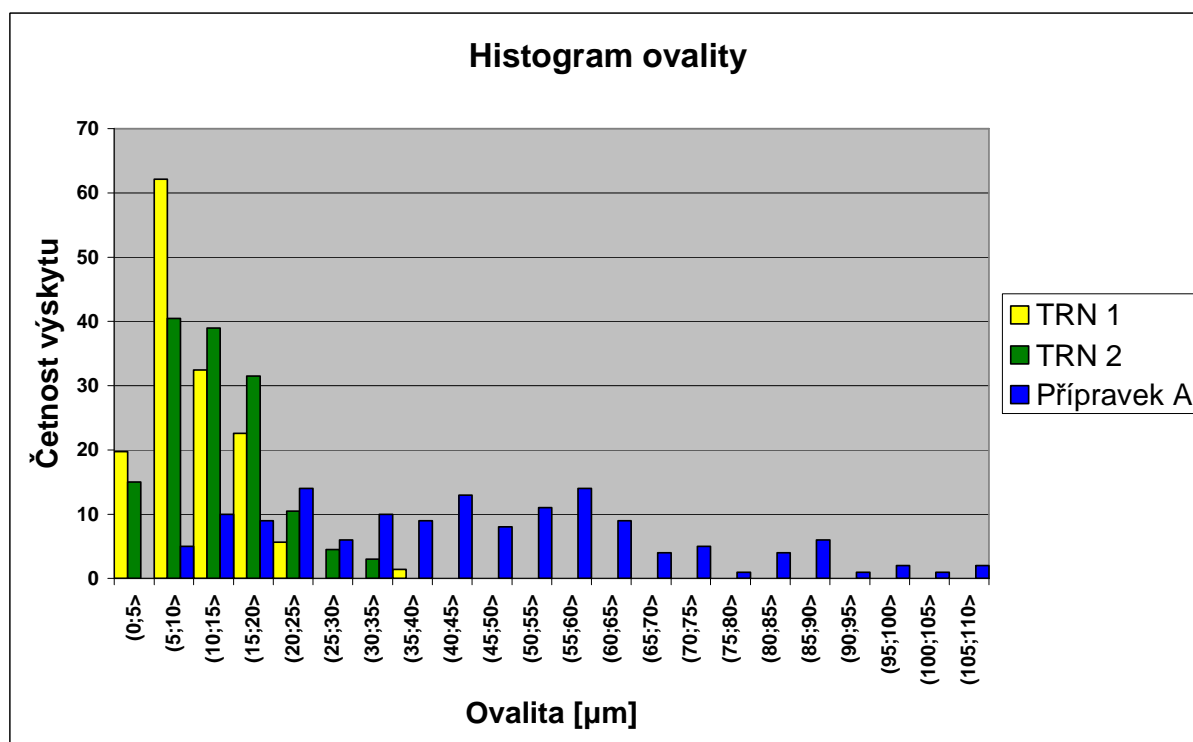
Ovalita je jednou z tvarových deformací. Její velikost je definována dle vzorce (4):

$$\text{Ovalita} = \text{Mdk}_{\max} - \text{Mdk}_{\min} \quad (4)$$

Mdk_{\max} ...Maximální naměřená hodnota Mdk v rovině měření

Mdk_{\min} ...Minimální naměřená hodnota Mdk v rovině měření

Čím větší je hodnota ovality, tím více se tvar objímky deformuje. Namísto kruhového otvoru vzniká elipsa. Je tedy třeba, aby byla výsledná ovalita po tepelném zpracování co nejnižší.



Graf 4 Histogram ovality

Z grafu je patrné, že se tvar dílů, zpracovávaných v průběžné peci, deformuje více než v karuselové. V karuselové peci je vyráběno s ovalitou do 25 μm 97 % objímek, v průběžné je to pouze 26 %.

3.6.5. Deformace tvaru vnitřního drážkování

Úchylky tvaru vnitřního drážkování byly změřeny v měrovém středisku na měřícím zařízení Klingenberg. Na vnitřním drážkování je kontrolován profil a sklon zubu, úchylky roztečí mezi zuby a obvodové házení. Výsledky měření ukázaly, že drážkování volně kalených objímek

podléhá větším deformacím než u zakalených po lisem. Následující tabulka (tab. 5) mezi sebou porovnává obě metody kalení na základě deformací drážkování.

Deformovaný tvar:	Průběžná pec		Karuselová pec	
	% zmetků	Překročení tolerance	% zmetků	Překročení tolerance
Profil zubu	30 %	nízké	0 %	nepřekročeno
Sklon zubu	91 %	vysoké	38 %	nízké
Úchylky obvodových roztečí	60 %	nízké	0 %	nepřekročeno

Tab. 5 Tabulka deformací tvaru vnitřního drážkování objímek

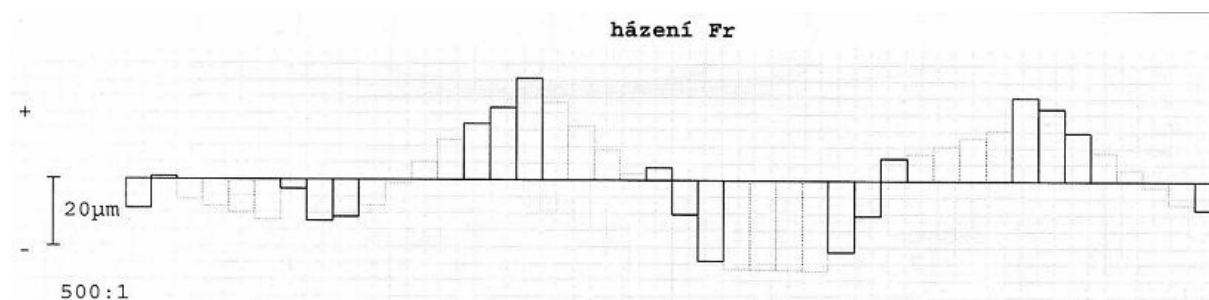
Překročení tolerancí:

Nízké – Hodnoty jsou těsně nad tolerancí (nejsou větší než 1,2 násobek tolerance)

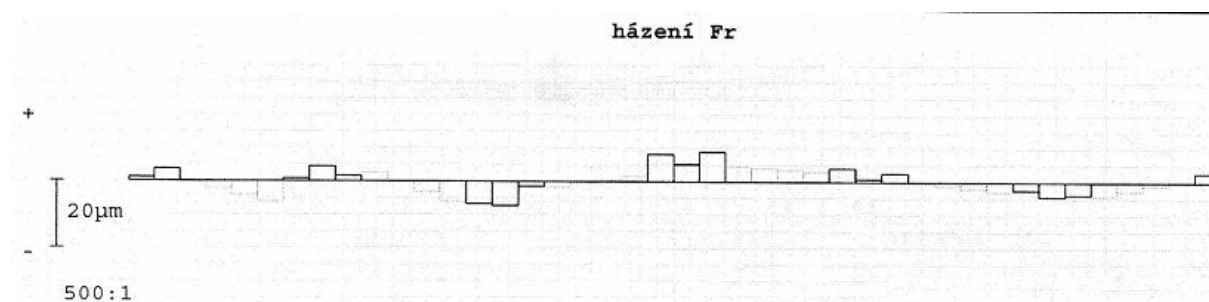
Vysoké – Hodnoty překračují toleranci o více než 1,2 násobek tolerance

% zmetků – Množství vyhodnocených zmetků z hlediska zkoušeného parametru

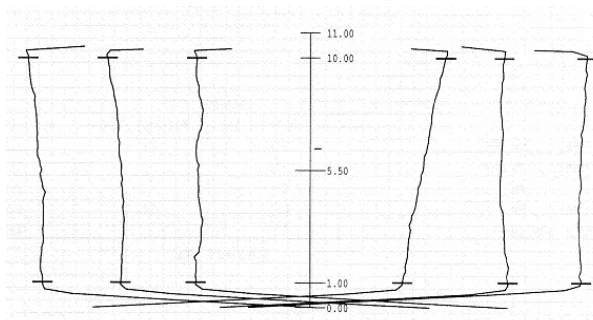
Průměrná hodnota sklonu zubů volně kalených objímek je 1,4 násobek tolerance. U všech dílů, zpracovaných v průběžné peci, bylo v průměru naměřeno 3x větší obvodové házení a 3x větší úchylky obvodových roztečí mezi zuby v porovnání s díly z karuselové pece. Jak ukazuje tabulka 5, nejčastější příčinou vyhodnocení dílu jako zmetku je sklon zubu a úchylka obvodových roztečí zubů. Ve výsledném hodnocení byly všechny volně kalené objímky shledány jako zmetky. Příklad průběhu obvodového házení je na obrázku 30 a 31 (obdobný průběh mají i úchylky obvodových roztečí). Na ose x jsou jednotlivé měřené zuby. Na ose y úchylky od pomyslného ideálního tvaru jednotlivých zubů.



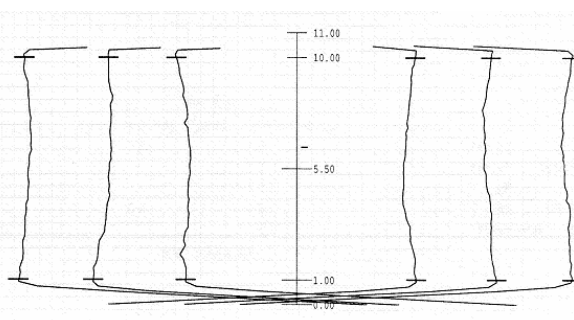
Obr. 30 Příklad průběhu obvodového házení po volném kalení



Obr. 31 Příklad průběhu obvodového házení po kalení pod lisem



Obr. 32 Příklad průběhu sklonu zubu - průběžná pec

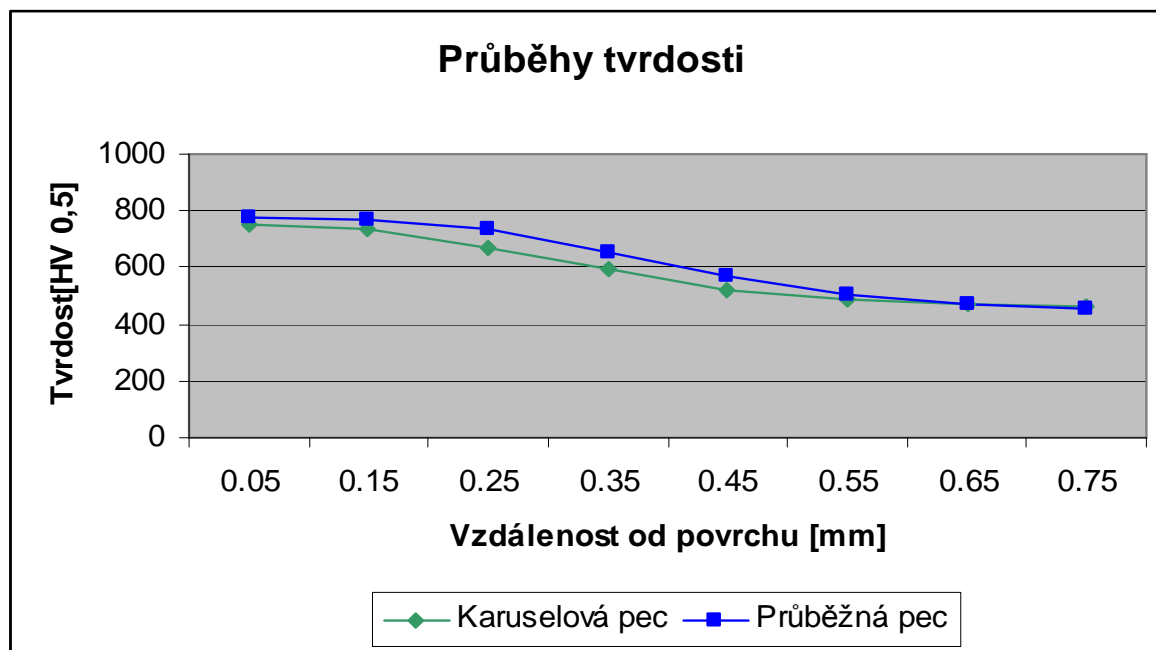


Obr. 33 Příklad průběhu sklonu zubu – karuselová pec

Na obrázcích 32 a 33 jsou znázorněny úchyly sklonů boků zubů (nalevo levá strana, napravo pravá strana). Křivka opět zachycuje úchyly od ideálního tvaru.

3.6.6. Průběhy tvrdosti

Průběh tvrdosti se spolu s měřením povrchové tvrdosti provádí pro kontrolu, zda byly díly správně nacementovány a zakaleny. Tvrdost do vzdálenosti 0,3 mm nesmí dle předpisu klesnout pod 550 HV0,5, ve vzdálenosti větší než 0,5 mm musí být naopak nižší než 550 HV0,5. Tvrdost povrchu je předepsána větší než 680 HV30. Na změření tvrdosti byly použity 3 vzorky pro průběžnou pec a 4 vzorky pro karuselovou pec. Zprůměrované křivky průběhů tvrdosti jsou na grafu 5. Samostatné protokoly s vyznačenými mezními hodnotami jsou uvedeny v přílohách.



Graf 5 Průměrný průběh tvrdosti dílů zpracovaných v karuselové peci a průběžné peci

4. Diskuze výsledků

Na základě grafu, vyhodnocujícího velikost deformací (graf 1), lze jednoznačně říci, že díly, které jsou zpracovávány v průběžné peci, se deformují daleko více než v peci karuselové (v průměru 3,3x).

Obě dvě varianty přípravků, které byly použity pro průběžnou pec, mají přibližně stejnou průměrnou velikost deformací. Přípravek B má oproti variantě A větší rozptyl hodnot deformací. To jej činí méně vhodným pro použití při tepelném zpracování objímek, protože pro něj nelze účinně korigovat rozměry obrobení otvoru pro získání správných Mdk po tepelném zpracování. Navíc dle rozdílů ve velikosti Mdk mezi jednotlivými měřeními pozicemi po zakalení lze říci, že je silně deformován i tvar, což touto korekcí nelze ovlivnit. Jak již bylo dříve uvedeno, tato metoda už byla v minulosti firmou Škoda AUTO pro tepelné zpracování objímek používána. Vzhledem ke zjištěným skutečnostem doporučuji do budoucna tento přípravek B nevyužívat.

Pro zakalené objímky je předepsaná odchylka od etalonu 0 až 91 μm . Splnění těchto tolerancí řeší graf velikosti odchylek od etalonu po zakalení (graf 2). Z grafu lze vyčíst, že předepsanou toleranci nesplňuje žádný z dílů, zpracovaných v průběžné peci. Dále si lze povšimnout, že dokonce i trn 1 vykazuje oproti trnu 2 výrazně vyšší zmetkovitost. Vyrábí 37 % rozměrů mimo povolenou toleranci. Trn 2 zmetky téměř nevyrábí. Za pravděpodobnou příčinu byl stanoven rozdíl v průměrech trnů.

Trny jsou postupně opotřebovávány což je především znatelné na trnu 1. Tím dochází ke zvětšení vůle. Menší průměr trnu 1 a tím větší vůle mezi otvorem objímky a trnem způsobuje větší deformace po kalení. Příčina větších deformací na trnu 1 byla potvrzena z dokumentů o kontrole jejich rozměrů z období provádění zkoušek deformací. Kontrola kalícího trnu se provádí na Optonu ve třech rovinách; hodnoty z dokumentace jsou uvedeny v tabulce 6.

Rovina	Trn 1 (mm)	Trn 2 (mm)
1	69,510	69,528
2	69,495	69,519
3	69,495	69,525
Průměrná hodnota	69,500	69,524

Tab. 6 Průměry kalících trnů v jednotlivých rovinách měření

Průměr trnu 2 je průměrně o 24 μm větší, proto jsou na něm kalené objímky méně deformovány. Rozměry obou trnů leží v předepsané toleranci 69,535 až 69,492 mm, rozměry trnu 1 leží těsně nad spodní hranicí povolené tolerance.

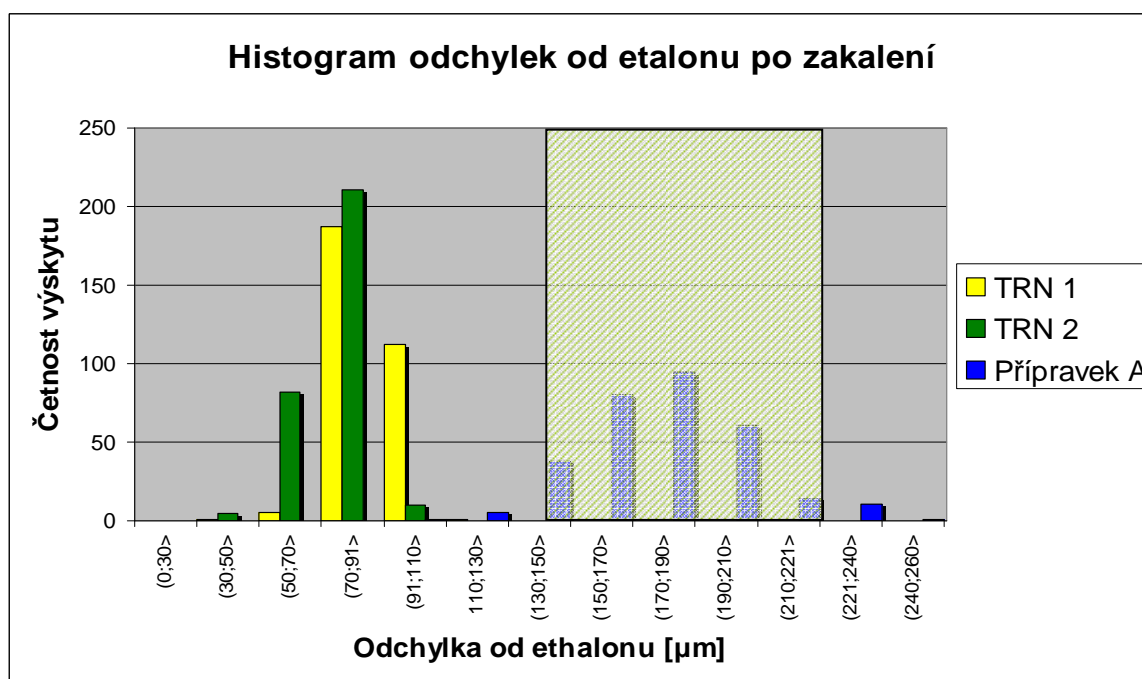
S přihlédnutím k těmto faktům doporučuji zvýšit spodní hranici tolerance průměru kalicího trnu, případně posunout nahoru celé toleranční pole. Tím by mělo být dosaženo daleko nižší zmetkovitosti.

Optimalizace rozměrů otvoru objímky pro průběžnou pec

Na základě požadavku na konečné rozměry po zakalení bylo dopočítáno nezbytné zvětšení otvoru objímky.

Konečný rozměr otvoru po tepelném zpracování je předepsán na $66,962^{+0,000}_{-0,091}$ mm. Při tepelném zpracování v průběžné peci dochází k daleko většímu smrštění otvoru objímky než v karuselové peci. Pro získání požadovaného konečného rozměru zapotřebí zvětšit velikost otvoru před TZ tak, aby se po TZ smrští na tolerovaný rozměr.

S ohledem na dosažení minimální zmetkovitosti výroby v průběžné peci byl stanoven z výsledků měření optimální rozměr otvoru objímky. Bylo zjištěno, že je otvor nutno zvětšit o 130 μm . Optimalizovaný rozměr objímky by se měl pohybovat před tepelným zpracováním v rozmezí $67,092^{+0,000}_{-0,052}$ mm. S touto korekcí rozměru při stejné velikosti deformací, které nastaly při experimentu, bude vyráběno 94 % rozměrů vnitřního drážkování v toleranci (graf 6).



Graf 6 Zeleně šrafovaná oblast rozměrů dílů, které budou v toleranci po korekci otvoru objímky

Graf ovality a kuželovitosti (graf 3 a 4) vypovídají o tom, že při tepelném zpracování v průběžné peci jsou, kromě daleko větších objemových deformací i větší deformace tvaru. Ovalita a kuželovitost, nemají žádnou předepsanou toleranci. Jejich velikost však ovlivňuje deformaci vnitřního drážkování, tudíž je nutné, aby tyto parametry byly co nejnižší.

Z grafu kuželovitosti bylo stanoveno, že se téměř ve všech případech stahuje spodní část dílu více než horní. Větší deformace spodní části objímky je pravděpodobně způsobena předešlým protahováním. Příčina je podepřena tím, že se spodní část deformuje více i u dílů vložených do pece v obrácené poloze. To vypovídá o tom, že na směr kuželovitosti nemá vliv tepelné zpracování. Větší kuželovitost u trnu 1 oproti trnu 2 je opět způsobena jeho opotřebením.

Vyšší deformace tvaru dílů, zpracovaných v průběžné peci oproti karuselové byly, potvrzeny i z výsledků detailního měření tvarů drážkování, které bylo provedeno v měrovém středisku. Dodržení tvaru drážkování je velmi důležité pro smontovatelnost dílu. Menší nároky lze klást pouze na hlavový průměr zubů, který je po kalení honován. Rozměry drážkování objímek, zpracovaných v průběžné peci, leží mimo některé předepsané tolerance. Oproti tomu objímky zpracované v karuselové peci se značnou rezervou splňují předepsané parametry.

Ve výsledném hodnocení byly všechny volně kalené objímky shledány jako zmetky.

Z hlediska kritérií na tvrdost povrchu a průběh tvrdosti lze konstatovat, že předepsané hodnoty jsou splněny při použití obou metod kalení. Při srovnání TZ v karuselové peci a v průběžné peci se objímky v průběžné peci prokalují až o 0,08 mm hlouběji. Větší hloubky prokalení jsou způsobeny optimalizací tepelného zpracování pro masivnější ozubená kola.

Ze všech výše uvedených skutečností lze říci:

Při použití výše uvedeného optimalizovaného průměru otvoru pro průběžnou pec, lze získat na objímkách až 94 % rozměrů, splňujících předepsanou toleranci. Takto vysoké splnění tolerancí nesplňuje dle naměřených hodnot ani trn 1 (splňuje pouze 63 % rozměrů). Trn 2 splňuje předepsané hodnoty z 97 %.

Dobrý díl nesmí ani v jednom rozměru překračovat předepsanou toleranci rozměrů. Jako dobré kusy bylo vyhodnoceno 88 % objímek, zpracovaných na trnu 2, a 18 %, zpracovaných na trnu 1. Při korekci objímek, zpracovávaných v průběžné peci, by zvětšením průměru jejich otvoru o 130 μm bylo vyrobeno 81 % dobrých dílů.

Tepelné zpracování v průběžné peci je činěno perspektivním, vzhledem k nižším provozním nákladům. Hlavním problémem je, že korekce rozměrů nijak nedokáže snížit vysoké hodnoty tvarových deformací, vznikajících při volném kalení. Vzhledem ke 100 % zmetkovitosti

z důvodu deformací tvaru vnitřního drážkování musím tuto jinak použitelnou metodu pro tepelné zpracování objímek zamítnout.

Do budoucna tedy doporučuji i nadále pro tepelné zpracování objímek používat výhradně metodu kalení pod lisem. V případě, že bude přesto zapotřebí zpracovávat objímky v průběžné peci, doporučuji nejdříve předat konstrukci výsledky deformací drážkování pro stanovení, zda budou takto deformované součásti schopny plnit svou funkci. V případě přijetí doporučuji použít variantu přípravku A.

V následujících tabulkách je uvedeno souhrnné srovnání pecí z hlediska deformací a provozních nákladů.

Formátování:	
Nejlepší varianta	
Ostatní	

Stažení otvoru objímky vlivem TZ

	Karuselová pec		Průběžná pec	
	TRN 1	TRN 2	Přípravek A	Přípravek B
Průměrná hodnota [μm]	48	34	136	137
Rozptyl	67	76	566	3585
Střední směrodatná odchylka [μm]	8	9	24	60
Dobrých dílů [%]	0,18	0,88	0%	0%

Tab. 7

Deformace tvaru

	Karuselová pec		Průběžná pec	
	TRN 1	TRN 2	Přípravek A	Přípravek B
Kuželovitost v intervalu <-8;+8> [%]	0,64	0,88	35%	15%
Ovalita do 25 μm v [%]	0,99	0,95	38%	15%

Tab. 8

Deformace tvaru drážkování

Deformovaný tvar:	Karuselová pec		Průběžná pec	
	% zmetků	Překročení tolerance	% zmetků	Překročení tolerance
Profil zubu	0%	nepřekročeno	30%	nízké
Sklon Zubu	38%	nízké	91%	vysoké
Úhlky obvodových roztečí	0%	nepřekročeno	60%	nízké

Tab. 5

Překročení tolerancí:

Nízké – Hodnoty jsou těsně nad tolerancí (nejsou větší než 1,2 násobek tolerance)

Vysoké – Hodnoty překračují toleranci o více než 1,2 násobek tolerance

% zmetků – Množství vyhodnocených zmetků z hlediska zkoušeného parametru

Provozní náklady

	Karuselová pec	Průběžná pec
Náklady na 1 díl [Kč]	3,49	2,52

Tab. 9

5. Závěr

Při vykonávání této bakalářské práce ve firmě ŠKODA AUTO a. s. jsem se seznámil se způsoby tepelného zpracování součástí převodové skříně MQ 200.

Na základě všech provedených měření a získaných informací byly stanoveny následující závěry:

- Byla vypočítána korekce rozměrů otvoru objímek pro zpracování v průběžné peci. Nový rozměr Mdk nezakalených dílů byl stanoven na $67,092^{+0,000}_{-0,052}$ mm.
- Provozní náklady karuselové peci jsou o 38,5 % vyšší než u průběžné.
- Na základě 100 % zmetkovitosti výroby v průběžné peci z důvodu deformací vnitřního drážkování doporučuji metodu kalení po lisem v karuselové peci.
- Pro snížení zmetkovitosti výroby v karuselové peci doporučuji zvětšit předepsané rozměry kalicích trnů.

6. Použitá literatura

- [1] **Prof. Ing. Karel Macek, DrSc., Prof. Ing. Petr Zuna, Csc. a Kolektiv:** Nauka o materiálu, ČVUT 1999
- [2] **Ing. Svatopluk Černoch:** Strojně technická příručka 2, SNTL Praha, 1977
- [3] Umělé atmosféry [cit. březen 2011]
Dostupné na: http://www.zez.cz/umele_atmosfery.htm
- [4] **Ing. V. Kraus, Csc.:** Tepelné zpracování a slinování
- [5] **Doc. Ing. K. Dad'ourek:** Přednášky z předmětu Materiálové inženýrství
- [6] Kalení [cit. březen 2011]
Dostupné na: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Kalení>
- [7] Kalení ocelí [cit. březen 2011]
Dostupné na: http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_magistri/TTZ/ttz%20Dad/kaloceli.pdf
- [8] **Prof. Ing. Dr. Jaroslav Pluhař a Kolektiv:** Nauka o materiálech, SNTL Praha, 1989
- [9] **Prof. Ing. Dr. Antonín Beneš a Kolektiv:** Kovové materiály – vlastnosti a použití, SNTL Praha, 1968
- [10] **Prof. Ing. Dr. Jaroslav Pluhař, Prof. Ing. Dr. Josef Koryta a Kolektiv:** Strojírenské materiály, SNTL Praha, 1981
- [11] **Doc. Ing. K. Dad'ourek:** cementace [cit. duben 2011]
Dostupné na: http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_magistri/VTM/vtm%20Dad/08cementace.pdf
- [12] Firemní podklady firmy ŠKODA AUTO
- [13] Metody kalení [cit. květen 2011]
Dostupné na: <http://www.tumlikovo.cz/zakladni-kaleni/>
- [14] Metody kalení [cit. květen 2011]
Dostupné na: <http://strojirenstvi.studentske.cz/2008/10/bainitick-kalen.html>

7. Seznam příloh

Příloha č. 1: Příklad tabulky naměřených odchylek od etalonu nezakalených dílů

Příloha č. 2: Tabulky naměřených odchylek od etalonu zakalených dílů – karuselová pec

Příloha č. 3: Tabulky naměřených odchylek od etalonu zakalených dílů – průběžná pec

Příloha č. 4: Tabulka předpokládaných odchylek od etalonu po zakalení pro objímky s korekcí otvoru pro průběžnou pec

Příloha č. 5: Příklady protokolů průběhu tvrdosti – průběžná pec

Příloha č. 6: Příklady protokolů průběhu tvrdosti – karuselová pec

PŘÍLOHA č. 1 - Příklad tabulky naměřených odchylek od etalonu **nezakalených** dílů

Číslo dílu	Odchylka od etalonu [μm]					
	vršek			spodek		
	poz. 1	poz. 2	poz. 3	poz. 4	poz. 5	poz. 6
1	46	40	38	56	50	30
2	30	35	31	19	44	36
3	44	42	42	48	44	43
4	38	43	40	40	42	49
5	37	31	27	39	36	36
6	36	38	44	43	40	45
8	35	38	27	40	39	32
9	31	37	34	35	42	37
10	44	48	36	44	47	40
11	38	43	43	45	40	47
12	31	35	31	38	36	37
13	42	44	36	42	47	42
14	30	35	28	36	37	36
15	34	43	46	40	41	48
16	42	44	35	47	48	40
17	44	40	37	53	44	35
18	36	38	41	37	40	50
19	39	45	37	40	51	43
20	44	43	43	46	42	38
21	41	39	46	52	40	62
24	45	38	39	50	43	40
25	36	27	39	42	33	39
26	35	28	42	40	45	45
27	31	38	40	33	42	41
30	40	45	39	44	51	49
31	31	42	40	37	42	44
32	42	45	45	42	51	45
33	41	46	39	42	49	45
34	45	42	45	50	41	46
35	39	41	45	43	46	51
36	44	48	40	44	50	39
38	28	38	38	35	39	43
39	38	38	28	40	43	46
40	29	42	37	39	44	40
73	42	46	44	48	50	42
74	39	34	30	41	37	37
75	43	42	47	51	44	41
76	47	39	47	48	50	50
77	30	45	40	38	47	45
78	43	46	35	44	48	39
79	42	37	45	47	41	46
80	40	36	45	42	41	42
81	28	42	42	35	43	45
82	39	42	46	45	45	52
83	40	24	38	44	31	43
84	44	41	40	48	45	40
85	35	30	41	36	35	39
86	28	47	32	31	38	41
87	25	38	34	30	41	37
90	40	41	34	39	45	39
91	22	37	35	28	35	36

Formátování dle výkresových rozměrů

dobrý kus:	2 až 52 μm
zmetek:	ostatní

PŘÍLOHA č. 2 - Tabulky naměřených odchylek od etalonu **zakalených dílů - karuselová pec**

Kaleno na trnu 1

Číslo dílu	Odchylka od etalonu [μm]					
	vršek			spodek		
	poz. 1	poz. 2	poz. 3	poz. 4	poz. 5	poz. 6
1	90	89	98	89	90	95
2	65	88	77	82	95	87
3	91	94	107	101	101	108
4	94	88	97	91	82	96
5	75	90	72	90	94	76
6	83	44	82	96	102	94
8	76	64	60	70	72	58
9	72	96	97	79	95	97
10	92	96	90	84	94	84
11	94	89	95	91	88	93
12	75	89	84	77	88	86
13	97	98	87	94	99	89
14	82	84	87	93	91	88
15	87	94	86	96	98	99
16	95	95	86	90	91	90
17	89	87	96	100	99	100
18	84	91	87	100	104	99
19	88	81	100	100	91	105
20	92	86	87	100	93	95
21	90	94	97	88	89	97
24	107	91	97	120	98	104
25	73	83	87	88	108	95
26	77	93	87	88	99	97
27	72	82	74	87	94	89
30	91	104	86	87	108	86
31	80	87	82	82	88	80
32	92	93	92	94	105	100
33	80	91	87	90	100	96
34	82	95	96	90	85	89
35	86	90	96	90	89	91
36	93	97	80	93	101	99
38	86	90	74	94	92	75
39	97	82	87	100	84	97
40	82	73	83	84	77	85
73	84	104	84	88	99	90
74	85	87	78	94	87	91
75	94	89	85	97	92	91
76	91	94	92	86	87	88
77	80	91	87	81	84	92
78	85	86	78	86	85	80
79	88	80	88	98	89	99
80	90	72	84	92	82	90
81	77	73	79	82	84	91
82	83	94	86	93	100	93
83	84	76	82	86	83	81
84	84	91	87	93	98	95
85	75	76	85	86	84	90
86	80	89	76	93	94	84
87	78	91	76	84	88	76
90	90	99	98	87	99	95
91	77	87	75	86	94	83

Formátování dle výkresových rozměrů:

dobry kus:	0 až 91 μm
zmetek:	ostatní

PŘÍLOHA č. 2 - Tabulky naměřených odchylek od etalonu **zakalených dílů – karuselová pec**

Kaleno na trnu 2

Číslo dílu	Odchylka od etalonu [μm]					
	vršek			spodek		
	poz. 1	poz. 2	poz. 3	poz. 4	poz. 5	poz. 6
41	85	90	87	86	82	83
42	83	89	78	78	91	82
43	73	72	83	67	69	75
44	76	72	85	77	65	81
45	72	81	82	72	84	77
47	73	89	72	82	97	82
49	81	76	71	83	75	75
49*	97	92	79	85	84	76
50	70	81	88	81	80	95
51	99	81	83	95	79	80
52	84	94	75	80	88	76
50*	76	78	80	75	80	85
51*	70	85	86	75	88	87
52*	90	79	70	87	84	75
53	80	72	75	84	77	79
54	65	71	67	73	73	69
55	73	81	70	67	81	67
56	80	84	66	82	84	68
54*	82	96	77	86	98	86
55*	74	64	86	82	66	86
57	68	73	78	72	76	76
58	66	68	77	69	73	88
60	72	85	70	75	90	76
61	72	56	76	75	58	76
62	68	56	85	78	61	87
63	64	65	57	71	61	59
64	67	52	71	68	48	64
65	82	67	75	69	64	78
66	86	75	77	90	80	80
67	59	67	59	61	67	62
68	68	75	70	76	74	74
70	86	73	76	90	81	84
71	79	81	77	84	80	77
72	72	79	86	77	75	77
93	77	68	72	74	67	76
94	65	77	74	66	74	75
96	84	59	62	81	49	63
100	74	84	77	82	80	82
101	74	70	77	79	76	81
102	81	77	74	79	70	69
103	87	83	81	91	77	80
104	84	59	68	86	64	75
105	70	72	56	70	78	58
106	67	80	60	71	81	67
107	81	57	70	84	62	77
108	69	66	73	74	66	72
110	66	80	48	67	71	44
111	72	67	82	69	62	84

Formátování dle výkresových rozměrů:

dobry kus:	0 až 91 μm
zmetek:	ostatni

PŘÍLOHA č. 3 - Tabulky naměřených odchylek od etalonu **zakalených dílů – průběžná pec**

Kaleno v přípravku A

Číslo dílu	Odchylna od etalonu [μm]					
	vršek			spodek		
	poz. 1	poz. 2	poz. 3	poz. 4	poz. 5	poz. 6
113	192	149	177	192	148	200
114	174	166	158	192	180	190
115	118	202	191	129	216	201
116	166	148	192	179	157	212
125	130	169	188	149	199	202
126	198	175	154	194	178	166
127	186	202	148	104	208	159
128	168	210	142	192	210	152
117	172	166	189	162	144	195
118	167	166	150	180	166	167
119	161	150	180	186	171	190
120	153	180	156	185	181	162
121	186	150	173	172	159	169
122	191	167	168	196	167	164
123	164	168	178	190	154	187
124	158	174	173	154	204	193
145	158	178	178	172	175	195
146	155	138	225	182	153	227
147	141	182	200	148	180	190
148	142	191	170	148	194	160
129	160	170	181	193	171	177
130	196	161	139	195	183	161
131	183	150	145	200	155	160
132	143	210	143	136	200	155
133	141	176	240	145	192	226
134	146	180	192	171	218	218
135	194	151	162	224	168	197
136	203	166	139	228	181	163
141	166	199	172	185	187	174
142	202	190	148	200	202	157
143	198	180	156	209	208	185
144	168	201	190	184	206	194
137	140	135	243	151	153	238
138	180	118	224	181	124	222
139	193	156	171	206	161	162
140	170	161	185	184	162	174
149	174	156	161	195	158	200
150	188	156	171	177	181	175
151	132	178	215	140	184	214
152	173	161	170	181	163	162
185	182	157	143	196	184	159
186	189	184	160	182	196	156
187	154	162	163	165	176	195
188	171	134	195	165	131	220
189	197	178	132	218	178	162
190	186	199	150	184	212	156
191	204	147	155	205	180	182

Formátování dle výkresových rozměrů:

dobry kus:	0 až 91 μm
zmetek:	ostatní

PŘÍLOHA č. 3 - Tabulky naměřených odchylek od etalonu **zakalených dílů – průběžná pec**

Kaleno v přípravku A

Číslo dílu	Odchylka od etalonu [μm]					
	vršek			spodek		
	poz. 1	poz. 2	poz. 3	poz. 4	poz. 5	poz. 6
192	148	163	200	153	168	186
229	179	180	185	201	206	194
230	131	218	167	176	234	190
231	228	137	144	226	152	157
232	204	158	160	217	186	162
217	216	127	180	236	155	188
218	166	187	148	187	228	178
219	184	213	156	213	218	155
220	209	187	130	226	195	156
197	198	154	189	204	171	191
198	180	179	148	191	189	137
199	195	185	182	190	191	173
200	156	191	150	165	221	182
225	172	192	170	174	197	177
226	202	204	132	199	207	142
227	147	211	171	156	216	181
228	154	146	203	166	176	221
209	186	177	155	190	174	176
210	155	170	161	176	187	188
211	142	154	205	146	172	202
212	140	188	194	160	180	201
193	172	172	163	181	176	172
194	151	165	179	166	159	184
195	146	144	182	170	186	201
196	184	178	118	206	211	138

Formátování dle výkresových rozměrů:

dobrý kus:	0 až 91 μm
zmetek:	ostatní

PŘÍLOHA č. 3 - Tabulky naměřených odchylek od etalonu **zakalených dílů – průběžná pec**

Kaleno v přípravku B

Číslo dílu	Odchylna od etalonu [μm]					
	vršek			spodek		
	poz. 1	poz. 2	poz. 3	poz. 4	poz. 5	poz. 6
177	190	161	204	152	137	94
178	202	214	92	302	372	" +62"
179	272	120	111	168	277	95
181	140	227	187	83	182	252
182	155	130	251	292	160	131
183	192	335	12	264	240	27
184	8	385	138	55	404	123
173	222	275	30	142	338	57
174	211	72	245	214	43	248
175	123	170	207	191	240	86
157	250	174	94	88	189	94
158	84	254	182	75	226	252
159	171	68	295	219	74	228
160	205	180	174	82	155	231
153	166	198	168	132	208	196
154	248	122	166	290	143	143
155	162	191	195	156	208	189
156	118	248	136	174	164	228
161	146	216	186	122	210	204
162	195	158	162	205	175	164
163	161	84	269	199	96	254
165	160	168	186	177	188	211
166	240	108	203	276	155	176
167	155	189	192	172	188	178
168	212	160	173	225	194	181
169	173	188	190	214	235	135
170	170	186	192	174	140	228
171	211	146	157	224	174	174
213	175	172	168	168	188	184
214	172	188	185	188	188	196
215	192	196	182	220	220	197
221	204	148	175	210	158	189
222	214	186	150	221	187	162
223	186	162	190	199	165	200
224	175	176	166	198	197	190

Formátování dle výkresových rozměrů:

dobry kus:	0 až 91 μm
zmetek:	ostatní

PŘÍLOHA č. 4 - Tabulka předpokládaných odchylek od etalonu po zakalení pro **objímky s korekcí otvoru - průběžná pec**

(Kaleno v přípravku A)

Číslo dílu	Odchylna od etalonu [μm]					
	vršek			spodek		
	poz. 1	poz. 2	poz. 3	poz. 4	poz. 5	poz. 6
113	62	19	47	62	18	70
114	44	36	28	62	50	60
115	-12	72	61	-1	86	71
116	36	18	62	49	27	82
125	0	39	58	19	69	72
126	68	45	24	64	48	36
127	56	72	18	-26	78	29
128	38	80	12	62	80	22
117	42	36	59	32	14	65
118	37	36	20	50	36	37
119	31	20	50	56	41	60
120	23	50	26	55	51	32
121	56	20	43	42	29	39
122	61	37	38	66	37	34
123	34	38	48	60	24	57
124	28	44	43	24	74	63
145	28	48	48	42	45	65
146	25	8	95	52	23	97
147	11	52	70	18	50	60
148	12	61	40	18	64	30
129	30	40	51	63	41	47
130	66	31	9	65	53	31
131	53	20	15	70	25	30
132	13	80	13	6	70	25
133	11	46	110	15	62	96
134	16	50	62	41	88	88
135	64	21	32	94	38	67
136	73	36	9	98	51	33
141	36	69	42	55	57	44
142	72	60	18	70	72	27
143	68	50	26	79	78	55
144	38	71	60	54	76	64
137	10	5	113	21	23	108
138	50	-12	94	51	-6	92
139	63	26	41	76	31	32
140	40	31	55	54	32	44
149	44	26	31	65	28	70
150	58	26	41	47	51	45
151	2	48	85	10	54	84
152	43	31	40	51	33	32
185	52	27	13	66	54	29
186	59	54	30	52	66	26
187	24	32	33	35	46	65
188	41	4	65	35	1	90
189	67	48	2	88	48	32
190	56	69	20	54	82	26
191	74	17	25	75	50	52

Formátování dle výkresových rozměrů:

dobrý kus:	0 až 91 μm
zmetek:	ostatní

PŘÍLOHA č. 4 - Tabulka předpokládaných odchylek od etalonu po zakalení pro **objímky s korekcí** otvoru pro **průběžnou pec**


(Kaleno v přípravku A)

Číslo dílu	Odchylna od etalonu [μm]					
	vršek			spodek		
	poz. 1	poz. 2	poz. 3	poz. 4	poz. 5	poz. 6
192	18	33	70	23	38	56
229	49	50	55	71	76	64
230	1	88	37	46	104	60
231	98	7	14	96	22	27
232	74	28	30	87	56	32
217	86	-3	50	106	25	58
218	36	57	18	57	98	48
219	54	83	26	83	88	25
220	79	57	0	96	65	26
197	68	24	59	74	41	61
198	50	49	18	61	59	7
199	65	55	52	60	61	43
200	26	61	20	35	91	52
225	42	62	40	44	67	47
226	72	74	2	69	77	12
227	17	81	41	26	86	51
228	24	16	73	36	46	91
209	56	47	25	60	44	46
210	25	40	31	46	57	58
211	12	24	75	16	42	72
212	10	58	64	30	50	71
193	42	42	33	51	46	42
194	21	35	49	36	29	54
195	16	14	52	40	56	71
196	54	48	-12	76	81	8

Formátování dle výkresových rozměrů:

dobry kus:	0 až 91 μm
zmetek:	ostatní

PŘÍLOHA č. 5 - Příklady protokolů průběhu tvrdosti – průběžná pec

 ŠKODA AUTO a.s. 293 60 Mladá Boleslav VAH/3 Metalurgická laboratoř VAH/3 Metallurgisches Labor		Protokol o zkoušce č. M 864/11 Laborbericht Nr.	
		List/Blatt 1/1	
Název dílu	OBJÍMKA SYN. S. 3./6. RYCHLOSTI	Materiál	TL 4227
Číslo dílu	02T 311 315 D	Číslo dávky	-
Zpráva o dílu	Chemicko-tepelně zpracovaný, kalený	Číslo vsázky/roštu	-
Zadal	PODKOVIČÁK Josef, Ing., VAT/33	Datum přijetí	9.3.11

I. DŮVOD KONTROLY: zkouška - kaleno v PP3 /kus č.182/

II. POŽADAVEK: kontrola tepelného zpracování

III. VÝSLEDKY:

1. Tvrdost

EN ISO 6507-1

Povrch	Předpis: ≥ 680 HV30	
místo měření	tvrdost HV30	
	730	736
čelo vence	741	736

Jádro	
místo měření	tvrdost HV30 /info/
střed osazení	441
střed osazení	441

EN ISO 6508-1

Tvrdost HRA	-	-
(informativní)	-	-

2. Stanovení hloubky cementace (CHD550): EN ISO 2639

Metodou: HV 0,5	Předpis: 0,3 + 0,2 mm
Výsledky: viz příloha č. 1	

3. Struktura materiálu

Výbrus číslo: 864

Popis: vrstva /zuby/ - martenzitický charakter struktury s cca 25-30% ZA

jádro - bainiticko-martenzitický charakter struktury

IV. ZÁVĚR:

Tepelné zpracování dodaného dílu vyhovuje VW 500 19 a požadavkům výkresové dokumentace.

Rozdělovník Verteiler	Podkovičák Josef VAT-3					
Datum 14.3.11	Vypracoval Erarbeitet	KALINOVÁ Dana Tel. +420 326 812220 mailto:dana.kalinova@skoda-auto.cz		Vedení laboratoře Labor-Leitung VENERA Petr Tel. +420 326 812935 mailto:petr.venera@skoda-auto.cz		

Podepsaný originál protokolu je v případě potřeby k nahlédnutí v laboratoři.

PŘÍLOHA č. 5 - Příklady protokolů průběhu tvrdosti – průběžná pec



ŠKODA AUTO a.s.
293 60 Mladá Boleslav

VAH/31 Metalurgická laboratoř
VAH/31 Metallurgisches Labor

Protokol o zkoušce č.
Laborbericht Nr.

M 864/11

Příloha/Anlage 1

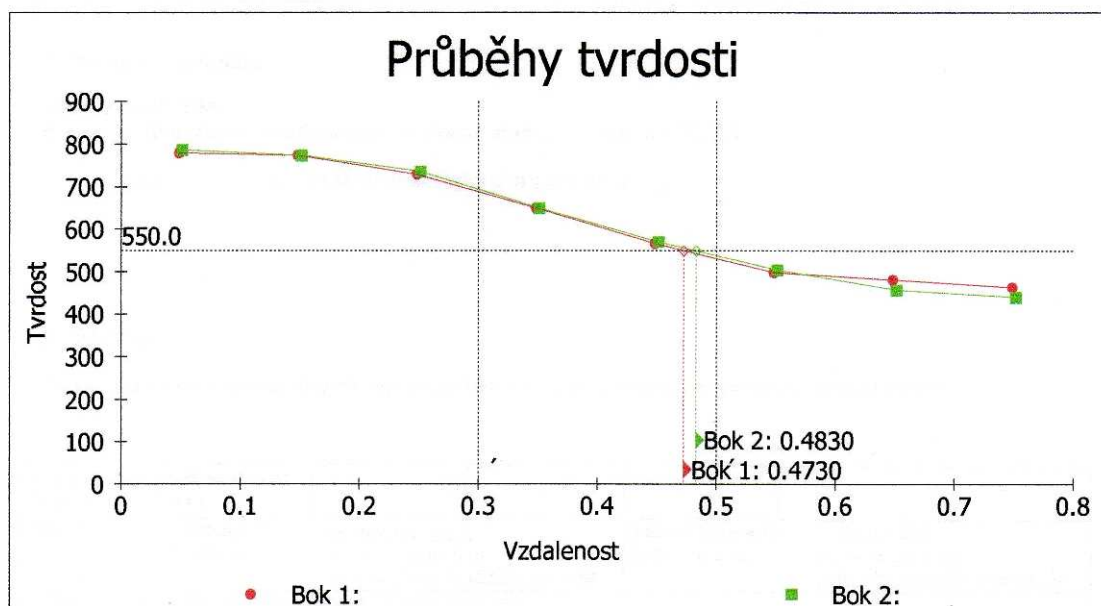
Stanovení hloubky cementace dle EN ISO 2639

Číslo dílu:	02T 311 315 D
Materiál:	4227
Předpis:	CHD 550 0,3 - 0,5 mm
Číslo vzorku:	864
Měřil:	DK


Metoda měření: HV0.5

Naměřené hodnoty

Vzdálenost (mm)	Bok zas.drážky	Bok zas.drážky
0.05	780	786
0.15	773	773
0.25	731	737
0.35	651	651
0.45	567	571
0.55	498	505
0.65	482	458
0.75	464	441
CHD 550 (mm)	0.47	0.48



PŘÍLOHA č. 5 - Příklady protokolů průběhu tvrdosti – průběžná pec

 ŠKODA AUTO a.s. 293 60 Mladá Boleslav VAH/3 Metalurgická laboratoř VAH/3 Metallurgisches Labor		Protokol o zkoušce č. M 865/11 Laborbericht Nr.	
		List/Blatt 1/1	
Název dílu	OBJÍMKA SYN. S. 3./6. RYCHLOSTI	Materiál	TL 4227
Číslo dílu	02T 311 315 D	Číslo dávky	-
Zpráva o dílu	Chemicko-tepelně zpracovaný, kalený	Číslo vsázky/roštu	-
Zadal	PODKOVIČÁK Josef, Ing., VAT/33	Datum přijetí	9.3.11

I. DŮVOD KONTROLY: zkouška - kaleno v PP3 /kus č.186/

II. POŽADAVEK: kontrola tepelného zpracování

III. VÝSLEDKY:

1. Tvrdost

EN ISO 6507-1

Povrch	Předpis: ≥ 680 HV30	
místo měření	tvrdost HV30	
	730	746
čelo vence	736	741

Jádro	
místo měření	tvrdost HV30 /info/
střed osazení	441
střed osazení	444

EN ISO 6508-1

Tvrdost HRA	-	-
(informativní)	-	-

2. Stanovení hloubky cementace (CHD550): EN ISO 2639

Metodou: HV 0,5	Předpis: $0,3 + 0,2$ mm
Výsledky: viz příloha č. 1	

3. Struktura materiálu

Výbrus číslo: 865

Popis: vrstva /zuby/ - martenzitický charakter struktury s cca 25-30% ZA

jádro - bainiticko-martenzitický charakter struktury

IV. ZÁVĚR:

Tepelné zpracování dodaného dílu vyhovuje VW 500 19 a požadavkům výkresové dokumentace.

Rozdělovník Verteiler	Podkovičák Josef VAT-3					
Datum 14.3.11	Vypracoval Erarbeitet	KALINOVÁ Dana Tel. +420 326 812220 mailto:dana.kalinova@skoda-auto.cz		Vedení laboratoře Labor-Leitung VENERA Petr Tel. +420 326 812935 mailto:petr.venera@skoda-auto.cz		

Podepsaný originál protokolu je v případě potřeby k nahlédnutí v laboratoři.

PŘÍLOHA č. 5 - Příklady protokolů průběhu tvrdosti – průběžná pec



SKODA AUTO a.s.
293 60 Mladá Boleslav

VAH/31 Metalurgická laboratoř
VAH/31 Metallurgisches Labor

Protokol o zkoušce č.
Laborbericht Nr.

M 865/11

Příloha/Anlage 1

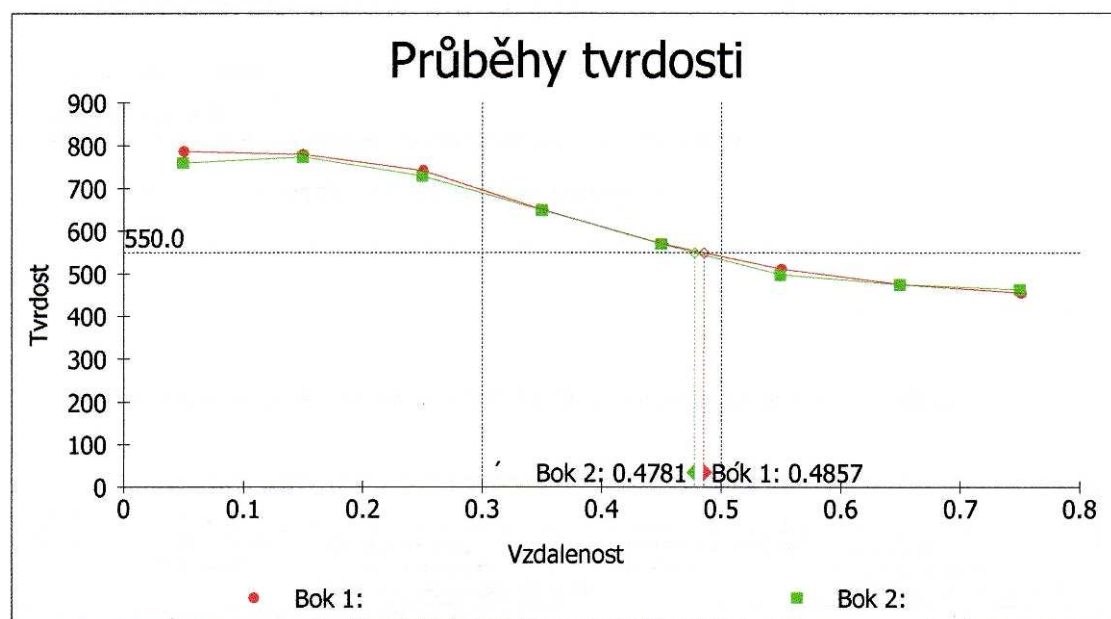
Stanovení hloubky cementace dle EN ISO 2639

Číslo dílu:	02T 311 315 D
Materiál:	TL4227
Předpis:	CHD 550 0,3 - 0,5 mm
Číslo vzorku:	865
Měřil:	DK


Metoda měření: HV0.5

Naměřené hodnoty

Vzdálenost (mm)	Bok zas.drážky	Bok zas.drážky
0.05	786	761
0.15	780	773
0.25	742	731
0.35	651	651
0.45	571	571
0.55	511	498
0.65	476	476
0.75	455	464
CHD 550 (mm)	0.49	0.48



PŘÍLOHA č. 6 - Příklady protokolů průběhu tvrdosti – karuselová pec

 ŠKODA AUTO a.s. 293 60 Mladá Boleslav VAH/3 Metalurgická laboratoř VAH/3 Metallurgisches Labor		Protokol o zkoušce č. M 691/11 Laborbericht Nr. List/Blatt 1/1	
Název dílu	OBJÍMKA SYN. S. 3./6. RYCHLOSTI	Materiál	TL 4227
Číslo dílu	02T 311 315 D	Číslo dávky	-
Zpráva o dílu	Chemicko-tepelně zpracovaný, kalený	Číslo vsázky/roštu	-
Zadal	PODKOVIČÁK Josef, Ing., VAT/33	Datum přijetí	21.2.11

- I. DŮVOD KONTROLY: zkouška /kus č.105/
 II. POŽADAVEK: kontrola tepelného zpracování
 III. VÝSLEDKY:

1. Tvrdost

EN ISO 6507-1

Povrch	Předpis: ≥ 680 HV30	
místo měření	tvrdost HV30	
	730	736
čelo věnce	730	725

Jádro	
místo měření	tvrdost HV30 /info/
střed osazení	444
střed osazení	446

EN ISO 6508-1

Tvrdost HRA	-	-
(informativní)	-	-

2. Stanovení hloubky cementace (CHD550): EN ISO 2639

Metodou: HV 0,5	Předpis: $0,3 + 0,2$ mm
Výsledky: viz příloha č. 1	

3. Struktura materiálu

Výbrus číslo: 691

Popis: vrstva /zuby/ - martenzitický charakter struktury s cca 20% ZA

jádro - bainiticko-martenzitický charakter struktury

IV. ZÁVĚR:

Tepelné zpracování dodaného dílu vyhovuje VW 500 19 a požadavkům výkresové dokumentace.

Rozdělovník Verteiler	Podkovičák Josef VAT-3				
Datum 25.2.11	Vypracoval Erarbeitet	KALINOVÁ Dana Tel. +420 326 812220 mailto:dana.kalinova@skoda-auto.cz		Vedení laboratoře Labor-Leitung	VENERA Petr Tel. +420 326 812935 mailto:petr.venera@skoda-auto.cz

Podepsaný originál protokolu je v případě potřeby k nahlédnutí v laboratoři.

PŘÍLOHA č. 6 - Příklady protokolů průběhu tvrdosti – karuselová pec



ŠKODA AUTO a.s.
293 60 Mladá Boleslav

VAH/31 Metalurgická laboratoř
VAH/31 Metallurgisches Labor

Protokol o zkoušce č.
Laborbericht Nr.

M 691/11

Příloha/Anlage 1

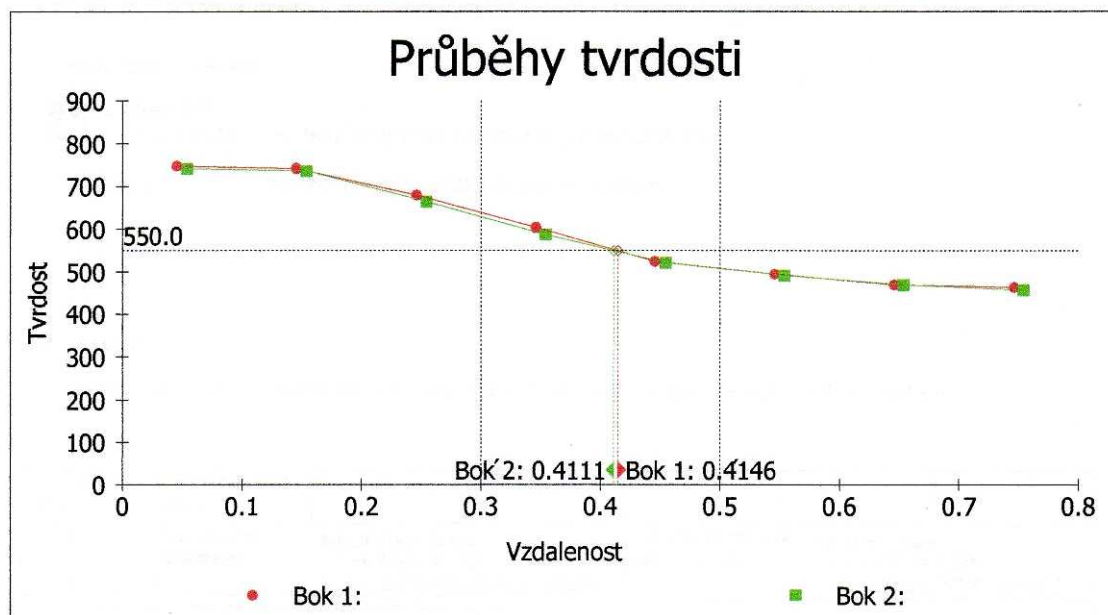
Stanovení hloubky cementace dle EN ISO 2639

Číslo dílu:	02T 311 315 D
Materiál:	TL 4227
Předpis:	CHD 550 0,3 - 0,5 mm
Číslo vzorku:	691
Měřil:	DK


Metoda měření: HV0.5

Naměřené hodnoty

Vzdálenost (mm)	Bok zas. drážky 1	Bok zas. drážky 2
0.05	748	742
0.15	742	737
0.25	681	666
0.35	604	587
0.45	525	522
0.55	495	492
0.65	470	470
0.75	464	458
CHD 550 (mm)	0.41	0.41



PŘÍLOHA č. 6 - Příklady protokolů průběhu tvrdosti – karuselová pec

 ŠKODA AUTO a.s. 293 60 Mladá Boleslav VAH/3 Metalurgická laboratoř VAH/3 Metallurgisches Labor		Protokol o zkoušce č. M 688/11 Laborbericht Nr.		List/Blatt 1/1
Název dílu	OBJÍMKA SYN. S. 3./6. RYCHLOSTI	Materiál	TL 4227	
Číslo dílu	02T 311 315 D	Číslo dávky	-	
Zpráva o dílu	Chemicko-tepelně zpracovaný, kalený	Číslo vsázky/roštu	-	
Zadal	PODKOVIČÁK Josef, Ing., VAT/33	Datum přijetí	21.2.11	

I. DŮVOD KONTROLY: zkouška /kus č.29/

II. POŽADAVEK: kontrola tepelného zpracování

III. VÝSLEDKY:

1. Tvrdost

EN ISO 6507-1

Povrch	Předpis: ≥ 680 HV30	
místo měření	tvrdost HV30	
	730	725
čelo vence	720	720

Jádro	
místo měření	tvrdost HV30 /info/
střed osazení	444
střed osazení	441

EN ISO 6508-1

Tvrdost HRA (informativní)	-	-
	-	-

2. Stanovení hloubky cementace (CHD550): EN ISO 2639

Metodou: HV 0,5	Předpis: $0,3 + 0,2$ mm
Výsledky: viz příloha č. 1	

3. Struktura materiálu

Výbrus číslo: 688

Popis: vrstva /zuby/ - martenzitický charakter struktury s cca 20% ZA

jádro - bainiticko-martenzitický charakter struktury

IV. ZÁVĚR:

Tepelné zpracování dodaného dílu vyhovuje VW 500 19 a požadavkům výkresové dokumentace.

Rozdělovník Verteiler	Podkovičák Josef VAT-3					
Datum 25.2.11	Vypracoval Erarbeitet	RUŽANSKÁ Ivana Tel. +420 326 812220 mailto:ivana.ruzanska@skoda-auto.cz		Vedení laboratoře Labor-Leitung VENERA Petr Tel. +420 326 812935 mailto:petr.venera@skoda-auto.cz		

Podepsaný originál protokolu je v případě potřeby k nahlédnutí v laboratoři.

PŘÍLOHA č. 6 - Příklady protokolů průběhu tvrdosti – karuselová pec



SKODA AUTO a.s.
293 60 Mladá Boleslav

VAH/31 Metalurgická laboratoř
VAH/31 Metallurgisches Labor

Protokol o zkoušce č.
Laborbericht Nr.

M 688/11

Příloha/Anlage 1

Stanovení hloubky cementace dle EN ISO 2639

Číslo dílu:	02T 311 315 D
Materiál:	TL 4227
Předpis:	CHD 550 0,3 - 0,5 mm
Číslo vzorku:	688
Měřil:	IR

Metoda měření: HV0.5

Naměřené hodnoty

Vzdálenost (mm)	Bok zas. drážky	Bok zas. drážky 2
0.05	748	767
0.15	725	731
0.25	671	656
0.35	583	575
0.45	518	511
0.55	473	485
0.65	470	473
0.75	458	461
CHD 550 (mm)	0.40	0.39

